

# GÓC NGHIÊNG LẮP ĐẶT CÁC BỘ THU NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

## TILT ANGLE OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTORS

Nguyễn Quốc Uy<sup>1,\*</sup>

### TÓM TẮT

Các bộ thu năng lượng mặt trời kiểu tấm phẳng (hay còn gọi là các panel năng lượng mặt trời) để đun nước nóng hoặc sản xuất điện ngày càng được sử dụng rộng rãi ở quy mô dân dụng cũng như công nghiệp. Việc lắp đặt các panel này với góc nghiêng như thế nào để đạt được hiệu quả thu năng lượng mặt trời cao nhất là yêu cầu của thực tiễn. Bài báo này trình bày phương pháp và kết quả xác định góc nghiêng tối ưu để các panel năng lượng mặt trời nhận được nhiều bức xạ nhất ứng với điều kiện thời tiết ở 13 trạm khí tượng của Việt Nam.

**Từ khóa:** Bộ thu năng lượng mặt trời; góc nghiêng.

### ABSTRACT

Flat plate solar collectors for water heater or electric generator are being used on a residential and industrial scale. How to install these panels with the angle of inclination to achieve the highest solar efficiency is a requirement of practice. This paper presents the method and results of determining the optimal tilt angle for solar panels to receive the most radiation corresponding to weather conditions at 13 meteorological stations in Vietnam.

**Keywords:** Solar Collector; angle tilt.

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ năng lượng, Trường Đại học Điện Lực

\*Email: uynq@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 25/4/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 13/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 27/6/2022

### Danh mục ký hiệu:

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
$\alpha_s$	Góc cao độ mặt trời	Độ
$\beta$	Góc nghiêng bộ thu/panel mặt trời (so với phương ngang)	Độ
$\gamma$	Góc phương vị bộ thu (so với phương chính Nam)	Độ
$\gamma_s$	Góc phương vị mặt trời	Độ
$\delta$	Góc lệch của trái đất	Độ
$\theta$	Góc tới của tia bức xạ	Độ
$\theta_z$	Góc thiên đỉnh	Độ
$\rho$	Hệ số phản xạ mặt đất	-
$\varphi$	Góc vĩ độ nơi đặt bộ thu	Độ
$\omega_s$	Góc giờ mặt trời lặn trên mặt bằng	Độ
$\omega'_s$	Góc giờ mặt trời lặn trên mặt nghiêng	Độ

$H_0$	Tổng xạ trên mặt bằng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)
$H_d$	Tán xạ trên mặt bằng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)
$H_t$	Tổng xạ trên mặt nghiêng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)
$H_{b,t}$	Trực xạ trên mặt nghiêng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)
$H_{d,t}$	Tán xạ trên mặt nghiêng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)
$H_{r,t}$	Phản xạ trên mặt nghiêng	W.h/(m <sup>2</sup> .ngày)

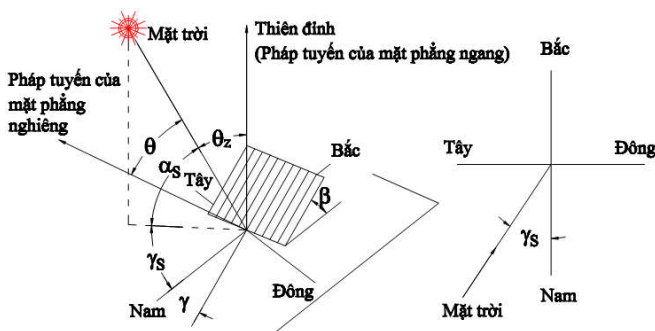
### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Năng lượng mặt trời (NLMT) ngày càng đóng vai trò quan trọng trong các hoạt động sử dụng năng lượng của con người, đặc biệt trong giai đoạn hiện nay với giá nhiên liệu đang tăng cao và yêu cầu bảo vệ môi trường ngày càng bức thiết. Việt Nam đã và đang phát triển mạnh mẽ các hệ thống thiết bị sử dụng NLMT ở quy mô dân dụng cũng như quy mô công nghiệp. Các ứng dụng phổ biến của NLMT là sản xuất nước nóng dùng cho sinh hoạt và sản xuất điện năng trực tiếp bằng pin mặt trời, và ngoài ra cũng phát triển mạnh mẽ một số ứng dụng khác như chưng cất nước mặn hoặc cấp nhiệt cho máy lạnh hấp thụ. Sự phát triển của công nghệ vật liệu đã tạo ra các bộ thu (panel NLMT) ngày càng có tuổi thọ và hiệu suất cao hơn. Tuy nhiên, hiệu quả làm việc của các panel NLMT không chỉ phụ thuộc và chất lượng vật liệu, mà còn phụ thuộc cả vào kỹ thuật lắp đặt (chủ yếu là hướng và góc nghiêng). Về hướng lắp đặt thì để thu được nhiều bức xạ mặt trời cả buổi sáng lẫn buổi chiều, các tấm panel phải hướng về phía chính Nam ứng với góc phương vị  $\gamma = 0^\circ$  hoặc chính Bắc ứng với góc phương vị  $\gamma = 180^\circ$ . Tuy nhiên, góc nghiêng lắp đặt panel thì phức tạp hơn nhiều vì nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như vĩ độ địa lý, đặc điểm khí hậu địa phương và đặc biệt là sự thay đổi theo chu kỳ của quỹ đạo quay quanh mặt trời và tự quay quanh trục của trái đất. Hiện nay việc lắp đặt các panel này ở nhiều địa phương vẫn chủ yếu dựa theo kinh nghiệm, rất cần thiết phải có sự giải thích và định hướng một cách khoa học. Để các hệ thống sử dụng NLMT hoạt động có hiệu quả cao, việc lắp đặt panel với góc nghiêng tối ưu là điều hết sức cần thiết. Việc xác định góc nghiêng tối ưu cho các panel năng lượng mặt trời đã được nhiều tác giả trên thế giới nghiên cứu [5, 6, 8], nhưng chưa thấy có công bố kết quả nghiên cứu nào cho điều kiện khí hậu Việt Nam. Vì bức xạ mặt trời thay đổi theo vị trí địa lý (vĩ độ, cao độ, độ bằng phẳng hay mấp mô của địa hình,...) và điều kiện khí hậu của từng địa phương (mây mù, gió,...) nên việc lắp đặt panel NLMT cho các địa phương ở Việt Nam sẽ

không thể giống nhau và việc xác định góc nghiêng tối ưu là cần thiết. Tác giả Nguyễn Trọng Hà đã xác định góc nghiêng tối ưu cho 2 địa danh là Hà Tĩnh và Quảng Ngãi bằng việc lấy số liệu khí tượng ở trạm Vinh và Đà Nẵng [1, 2]. Tuy nhiên với các địa phương khác trên cả nước thì chưa được tác giả nào tính toán xác định nên khi có nhu cầu lắp đặt các hệ thống NLMT sẽ không có cơ sở để lựa chọn góc nghiêng hợp lý. Từ nhu cầu của thực tiễn, trên cơ sở lý thuyết về bức xạ mặt trời, bằng việc sử dụng các mô hình bức xạ đã được ghi nhận là chính xác [4] và sử dụng phần mềm EES [7], bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xác định góc nghiêng tối ưu cho các panel lắp đặt ở các địa phương ứng với 13 trạm khí tượng của Việt Nam với dữ liệu bức xạ mặt trời cho trong QCVN 02:2009/BXD [3].

**2. MÔ HÌNH TOÁN VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH GÓC NGHIÊNG TỐI ƯU**

Sau khi đi vào khí quyển trái đất, một phần bức xạ mặt trời bị mây và bụi hấp thụ hoặc làm đổi hướng gọi là tán xạ, một phần tiếp tục đi thẳng tới bề mặt trái đất gọi là trực xạ. Các góc hình học đặc trưng cho tia trực xạ trong mối tương quan với mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng nghiêng được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Các góc đặc trưng của tia trực xạ

Trên bề mặt nghiêng góc  $\beta$  so với mặt phẳng nằm ngang, năng lượng bức xạ đập tới bề mặt trong 1 ngày được xác định bằng tổng của ba thành phần trực xạ, tán xạ và phản xạ mặt đất [0]:

$$H_t = H_{b,t} + H_{d,t} + H_{r,t} \tag{1}$$

Thành phần trực xạ được tính theo công thức:

$$H_{b,t} = (H_0 - H_d) \cdot R_b \tag{2}$$

Trong đó  $H_0$  và  $H_d$  tương ứng là tổng xạ và tán xạ trên mặt bằng, được lấy theo QCVN 02:2009/BXD [3]. Hệ số chuyển đổi trực xạ tính trung bình cho cả ngày được xác định theo công thức:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega'_s + \frac{\pi}{180} \omega'_s \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} \tag{3}$$

$\omega_s$  và  $\omega'_s$  tương ứng là góc giờ mặt trời lặn trên mặt bằng và trên mặt nghiêng tính cho ngày điển hình trong tháng:

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \tag{4}$$

$$\omega'_s = \min[\arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta);$$

$$\arccos(-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta)] \tag{5}$$

Trong đó  $\beta$  là góc nghiêng lắp đặt panel ( $\beta > 0$  nếu hướng về phía chính Nam,  $\beta < 0$  nếu hướng về phía chính Bắc),  $\varphi$  là góc vĩ độ nơi đặt panel,  $\delta$  là góc lệch của trái đất (là góc tạo bởi đường thẳng nối tâm trái đất với tâm mặt trời và mặt phẳng xích đạo) được xác định theo công thức Cooper:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin[(284 + n) \cdot \frac{360}{365}] \tag{6}$$

Ở đây  $n$  là số thứ tự của ngày trong năm ( $n = 1 \div 365$ ), quy định lấy  $n = 1$  ứng với ngày 1 tháng 1.

Vì góc lệch của trái đất thay đổi theo từng ngày nên ở đây sẽ lấy giá trị trung bình trong tháng:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^m \delta_i}{m} \tag{7}$$

Trong đó góc lệch  $\delta_i$  xác định theo công thức (6);  $m$  là số ngày của tháng thứ  $k$ ,  $k = 1 \div 12$ .

Thành phần tán xạ trên mặt nghiêng được xác định theo mô hình bất đẳng hướng của Reindl:

$$H_{d,t} = H_d \cdot R_d \tag{8}$$

$$R_d = \frac{H_b}{H_0} \cdot R_b + (1 - \frac{H_b}{H_0}) \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} \cdot [1 + \sqrt{\frac{H_b}{H_0}} \cdot \sin^2(\frac{\beta}{2})] \tag{9}$$

Thành phần phản xạ mặt đất được xác định theo mô hình đẳng hướng của Liu-Jordan:

$$H_{r,t} = H_0 \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} \tag{10}$$

$\rho$  là hệ số phản xạ mặt đất, phụ thuộc vào đặc điểm bề mặt môi trường xung quanh (bê tông, cây cỏ,...), gần đúng thường lấy giá trị  $\rho = 0,2$  [4].

Từ đó, góc nghiêng tối ưu  $\beta_{opt}$  (trong khoảng  $-90^\circ \div 90^\circ$ ) được xác định bằng cách cực đại hóa hàm mục tiêu (là mật độ năng lượng bức xạ trung bình (NLBX) đập tới mặt nghiêng) trong khoảng thời gian nhất định (từng tháng, cả mùa hoặc cả năm) theo biến số là góc nghiêng  $\beta$ :

$$\sum H_t = \sum \left[ (H_0 - H_d) \cdot R_b + H_d \cdot R_d + H_0 \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \cdot 3,6/1000 \tag{11}$$

Các phương trình từ (1) đến (11) biểu thị mô hình toán để xác định góc nghiêng tối ưu. Việc giải mô hình toán này được thực hiện bằng công cụ EES là một phần mềm chuyên dụng để giải các bài toán trong lĩnh vực kỹ thuật, trong đó có thuật toán tìm cực trị [7]. Biến độc lập ở đây là góc nghiêng  $\beta$  của panel, còn biến phụ thuộc (hàm mục tiêu) là NLBX trung bình trên bề mặt nghiêng trong 1 tháng, 1 mùa, hoặc cả năm. Giá trị góc nghiêng tối ưu  $\beta_{opt}$  tương ứng là giá trị sao cho hàm mục tiêu đạt cực đại.

**3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN**

Góc nghiêng tối ưu cho từng tháng, theo mùa hoặc cả năm ứng với 13 trạm khí tượng đặc trưng cho 13 khu vực khí hậu của Việt Nam được tính toán và trình bày trong các bảng 1, 2, 3 và 4.

Bảng 1. Góc nghiêng tối ưu và mật độ năng lượng bức xạ trung bình trên mặt nghiêng theo từng tháng MJ/(m<sup>2</sup>.tháng) và cả năm MJ/(m<sup>2</sup>.năm)

Trạm khí tượng/ Vùng khí hậu		Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12	Cả năm
Lai Châu	$\beta_{opt}$ , độ	41	35	22	6	-5	-8	-7	1	15	30	39	42	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	532,03	580,85	634,95	675,81	711,91	568,25	593,60	679,08	698,33	671,06	574,74	536,26	<b>7456,87</b>
Sơn La	$\beta_{opt}$ , độ	41	34	22	5	-6	-9	-7	0	15	30	40	44	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	-	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	626,11	617,38	883,54	758,95	831,45	722,30	732,99	771,27	792,49	792,76	708,60	697,85	<b>8935,69</b>
Sa Pa	$\beta_{opt}$ , độ	44	36	22	6	-5	-7	-6	1	13	27	40	45	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	441,42	400,20	507,36	553,84	529,07	435,32	462,20	469,11	417,80	375,58	384,65	476,32	<b>5452,87</b>
Cao Bằng	$\beta_{opt}$ , độ	35	18	18	5	-4	-8	-7	1	16	30	39	41	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	380,48	341,76	446,56	541,47	707,00	708,49	767,11	756,35	734,88	650,96	554,33	490,24	<b>7079,63</b>
Hà Nội	$\beta_{opt}$ , độ	34	24	13	4	-6	-10	-9	0	15	30	39	41	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	-	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	399,32	348,83	390,04	516,30	812,90	806,03	845,77	765,34	734,10	727,55	618,33	560,12	<b>7524,63</b>
Phù Liễu	$\beta_{opt}$ , độ	34	20	10	3	-6	-10	-9	0	14	29	38	39	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	-	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	397,24	285,81	304,01	422,73	685,44	674,57	744,95	648,32	637,91	662,70	585,43	506,45	<b>6555,56</b>
Thanh Hóa	$\beta_{opt}$ , độ	35	24	14	3	-7	-12	-10	-1	13	28	37	40	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	428,92	351,26	406,31	556,21	858,23	806,61	876,03	767,31	697,39	657,72	569,57	538,72	<b>7514,28</b>
Vinh	$\beta_{opt}$ , độ	34	24	15	3	-8	-13	-11	-2	12	27	34	36	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	327,77	272,10	373,06	560,97	819,34	808,41	884,38	769,81	621,35	522,04	401,26	370,29	<b>6730,78</b>
Đà Nẵng	$\beta_{opt}$ , độ	37	30	17	1	-10	-15	-13	-4	11	26	34	37	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	584,93	636,11	735,09	815,35	925,36	894,30	938,62	888,48	714,30	601,60	482,10	430,58	<b>8646,82</b>
Plâycu	$\beta_{opt}$ , độ	37	29	15	-1	-12	-15	-13	-5	8	23	34	39	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	967,18	906,50	890,42	794,86	841,27	660,13	634,58	569,38	591,44	697,60	775,53	878,44	<b>9207,33</b>
Đà Lạt	$\beta_{opt}$ , độ	35	27	14	-3	-13	-15	-14	-6	6	18	31	36	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	992,42	898,03	967,93	797,68	686,41	671,43	673,88	651,99	633,61	636,92	693,73	871,83	<b>9175,86</b>
Tân Sơn Nhất	$\beta_{opt}$ , độ	34	26	13	-4	-14	-18	-17	-8	6	21	31	35	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	869,25	873,05	903,79	807,09	759,78	723,02	712,59	721,79	678,18	727,71	726,02	797,15	<b>9299,42</b>
Cần Thơ	$\beta_{opt}$ , độ	33	25	12	-4	-15	-18	-17	-8	5	20	31	35	
	Hướng	Nam	Nam	Nam	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Bắc	Nam	Nam	Nam	Nam	
	NLBX	879,96	853,84	922,12	880,11	743,39	647,28	688,19	666,49	595,59	606,33	687,84	775,85	<b>8946,99</b>

Bảng 2. Góc nghiêng tối ưu và mật độ năng lượng bức xạ trung bình trên mặt nghiêng theo từng tháng của mùa MJ/(m<sup>2</sup>.tháng), và cả mùa MJ/(m<sup>2</sup>.mùa)

Trạm khí tượng/ Vùng khí hậu		Mùa Xuân				Mùa Hạ			
		Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Cả mùa	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Cả mùa
Lai Châu	$\beta_{opt}$ , độ	21				-7			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	566,4	634,9	660,1	<b>1861,4</b>	711,8	568,2	593,6	<b>1873,6</b>
Sơn La	$\beta_{opt}$ , độ	20				-7			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	603,3	883,3	741,4	<b>2228,0</b>	831,2	722,1	733,0	<b>2286,3</b>
Sa Pa	$\beta_{opt}$ , độ	20				-6			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	388,2	507,2	541,3	<b>1436,7</b>	529,0	435,3	462,2	<b>1426,5</b>
Cao Bằng	$\beta_{opt}$ , độ	13				-7			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	340,9	445,5	538,9	<b>1325,3</b>	706,7	708,3	767,1	<b>2182,1</b>
Hà Nội	$\beta_{opt}$ , độ	13				-8			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	345,0	391,7	512,6	<b>1249,3</b>	812,5	805,8	845,8	<b>2464,1</b>
Phù Liễu	$\beta_{opt}$ , độ	10				-8			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	283,5	304,0	421,1	<b>1008,6</b>	685,1	674,4	744,9	<b>2104,4</b>
Thanh Hóa	$\beta_{opt}$ , độ	12				-10			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	346,3	406,2	552,3	<b>1304,8</b>	857,8	806,3	876,0	<b>2540,1</b>
Vinh	$\beta_{opt}$ , độ	11				-11			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	268,0	372,5	557,4	<b>1197,9</b>	818,9	808,1	884,4	<b>2511,4</b>
Đà Nẵng	$\beta_{opt}$ , độ	15				-13			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	619,5	734,6	797,6	<b>2151,7</b>	924,7	893,8	938,6	<b>2757,1</b>
Plâycu	$\beta_{opt}$ , độ	16				-13			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	885,7	890,4	769,3	<b>2545,4</b>	841,0	687,0	634,6	<b>2162,6</b>
Đà Lạt	$\beta_{opt}$ , độ	14				-14			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	877,3	967,9	772,5	<b>2617,7</b>	686,3	671,3	673,9	<b>2031,5</b>
Tân Sơn Nhất	$\beta_{opt}$ , độ	13				-16			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	852,6	903,8	782,8	<b>2539,2</b>	759,5	722,8	712,6	<b>2194,9</b>
Cần Thơ	$\beta_{opt}$ , độ	11				-16			
	Hướng	Nam				Bắc			
	NLBX	832,8	922,1	856,2	<b>2611,1</b>	743,2	647,1	688,2	<b>2078,5</b>

Bảng 3. Góc nghiêng tối ưu và mật độ năng lượng bức xạ trung bình trên mặt nghiêng theo từng tháng của mùa MJ/(m<sup>2</sup>.tháng), cả mùa MJ/(m<sup>2</sup>.mùa) và cả năm MJ/(m<sup>2</sup>.năm)

Trạm khí tượng/ Vùng khí hậu		Mùa Thu				Mùa Đông				Cả năm
		Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Cả mùa	Tháng 11	Tháng 12	Tháng 1	Cả mùa	
Lai Châu	$\beta_{opt}$ , độ	16				42				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	662,9	698,3	654,7	<b>2015,9</b>	574,6	536,1	532,0	<b>1642,7</b>	<b>7393,6</b>
Sơn La	$\beta_{opt}$ , độ	16				42				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	752,2	792,4	773,7	<b>2318,3</b>	708,3	697,5	626,1	<b>2031,9</b>	<b>8864,5</b>
Sa Pa	$\beta_{opt}$ , độ	13				43				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	463,0	417,8	368,7	<b>1249,5</b>	384,2	476,1	441,4	<b>1301,7</b>	<b>5414,4</b>
Cao Bằng	$\beta_{opt}$ , độ	15				39				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	741,0	734,8	635,2	<b>2111,0</b>	554,3	490,0	380,0	<b>1424,3</b>	<b>7042,7</b>
Hà Nội	$\beta_{opt}$ , độ	15				38				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	747,2	734,1	709,0	<b>2190,3</b>	618,3	559,7	398,5	<b>1576,5</b>	<b>7480,2</b>
Phù Liên	$\beta_{opt}$ , độ	15				37				
	Hướng	Nam				Nam				
	Tổng NLBX	633,4	637,8	647,6	<b>1918,8</b>	585,4	506,3	396,9	<b>1488,6</b>	<b>6520,4</b>
Thanh Hóa	$\beta_{opt}$ , độ	13				37				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	751,2	697,4	640,6	<b>2089,2</b>	569,5	538,3	428,6	<b>1536,4</b>	<b>7470,5</b>
Vinh	$\beta_{opt}$ , độ	10				35				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	756,8	621,1	507,0	<b>1884,9</b>	401,2	370,2	327,7	<b>1099,1</b>	<b>6693,3</b>
Đà Nẵng	$\beta_{opt}$ , độ	9				36				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	871,4	713,9	581,5	<b>2166,8</b>	481,9	430,6	584,8	<b>1497,3</b>	<b>8572,9</b>
Plâycu	$\beta_{opt}$ , độ	10				37				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	557,4	591,0	685,7	<b>1834,1</b>	774,8	878,0	967,2	<b>2620,0</b>	<b>9162,1</b>
Đà Lạt	$\beta_{opt}$ , độ	6				34				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	643,2	633,6	627,6	<b>1904,4</b>	692,7	871,4	992,4	<b>2556,5</b>	<b>9110,1</b>
Tân Sơn Nhất	$\beta_{opt}$ , độ	7				34				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	706,6	678,1	712,0	<b>2096,7</b>	725,5	796,9	869,2	<b>2391,6</b>	<b>9222,4</b>
Cần Thơ	$\beta_{opt}$ , độ	5				33				
	Hướng	Nam				Nam				
	NLBX	653,4	595,6	592,3	<b>1841,3</b>	687,4	775,6	880,0	<b>2343,0</b>	<b>8873,9</b>

Bảng 4. Góc nghiêng tối ưu cố định cả năm và mật độ năng lượng bức xạ trung bình trên mặt nghiêng từng tháng MJ/(m<sup>2</sup>.tháng) và cả năm MJ/(m<sup>2</sup>.năm)

Trạm khí tượng/ Vùng khí hậu		Tháng 1	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5	Tháng 6	Tháng 7	Tháng 8	Tháng 9	Tháng 10	Tháng 11	Tháng 12	Cả năm
Lai Châu	$\beta_{opt}$ , độ	18												
	Hướng	Nam												
	NLBX	498,6	560,4	634,0	665,4	672,2	534,9	557,9	658,5	697,9	658,7	544,6	500,3	<b>7183,4</b>
Sơn La	$\beta_{opt}$ , độ	18												
	Hướng	Nam												
	NLBX	585,7	599,5	882,4	745,3	783,6	673,9	687,8	745,8	791,4	779,6	669,0	642,1	<b>8586,1</b>
Sa Pa	$\beta_{opt}$ , độ	20												
	Hướng	Nam												
	NLBX	408,6	387,0	507,0	542,6	498,6	411,1	435,9	454,2	416,2	373,8	364,7	435,9	<b>5235,6</b>
Cao Bằng	$\beta_{opt}$ , độ	13												
	Hướng	Nam												
	NLBX	362,4	341,1	445,7	538,5	686,1	677,4	735,5	745,1	734,3	630,6	512,4	450,2	<b>6859,3</b>
Hà Nội	$\beta_{opt}$ , độ	12												
	Hướng	Nam												
	NLBX	381,1	344,3	390,0	513,3	785,5	766,3	806,9	753,7	733,6	701,0	568,8	507,2	<b>7251,7</b>
Phù Liễu	$\beta_{opt}$ , độ	12												
	Hướng	Nam												
	NLBX	378,2	284,4	303,9	419,9	663,8	642,7	710,9	638,0	637,8	641,8	543,0	467,4	<b>6331,8</b>
Thanh Hóa	$\beta_{opt}$ , độ	10												
	Hướng	Nam												
	NLBX	401,8	344,5	405,8	554,1	830,3	767,3	837,7	757,3	696,4	633,4	524,3	484,0	<b>7236,9</b>
Vinh	$\beta_{opt}$ , độ	6												
	Hướng	Nam												
	NLBX	301,7	264,2	370,3	560,5	800,7	778,5	855,8	764,8	618,3	497,2	367,8	335,2	<b>6515,0</b>
Đà Nẵng	$\beta_{opt}$ , độ	7												
	Hướng	Nam												
	NLBX	524,4	599,8	727,1	811,5	889,1	840,2	889,6	874,5	713,4	578,6	445,2	391,3	<b>8284,7</b>
Plâycu	$\beta_{opt}$ , độ	16												
	Hướng	Nam												
	NLBX	907,5	884,3	890,4	770,6	774,2	598,0	582,2	547,9	587,7	693,5	743,7	818,2	<b>8798,2</b>
Đà Lạt	$\beta_{opt}$ , độ	13												
	Hướng	Nam												
	NLBX	933,3	875,8	967,9	774,0	637,0	619,7	624,3	629,5	630,2	635,3	669,8	814,0	<b>8810,8</b>
Tân Sơn Nhất	$\beta_{opt}$ , độ	11												
	Hướng	Nam												
	NLBX	808,3	846,7	903,4	788,0	706,0	662,9	654,6	696,9	676,3	719,8	689,8	739,9	<b>8892,6</b>
Cần Thơ	$\beta_{opt}$ , độ	10												
	Hướng	Nam												
	NLBX	821,1	829,5	921,7	859,5	692,7	594,2	636,2	642,5	594,1	600,1	653,7	718,8	<b>8564,1</b>

Kết quả tính toán ở trên cho thấy góc nghiêng tối ưu ở mỗi địa phương khác nhau có sự thay đổi khá nhiều theo các tháng trong năm. Góc nghiêng tối ưu không chỉ phụ thuộc vào vĩ độ địa lý, mà còn phụ thuộc vào đặc điểm khí hậu, cụ thể là tỉ lệ giữa các thành phần trực xạ và tán xạ trên mặt bằng. Vào mùa hè, góc nghiêng tối ưu ở 13 địa phương đều âm, tức là các bộ thu đều phải quay về hướng Bắc thì hiệu quả mới cao. Thông thường nhiều người hay chọn góc nghiêng lắp đặt đúng bằng vĩ độ địa lý, nhưng kết quả tính toán cho thấy, nếu đặt panel cố định cả năm thì góc nghiêng tối ưu cũng không nhất thiết bằng vĩ độ địa lý cho tất cả các địa phương. Sở dĩ vậy là vì mỗi địa phương có đặc điểm khí hậu khác nhau thể hiện là tỉ lệ tán xạ và trực xạ khác nhau, nên khi đặt góc nghiêng bằng vĩ độ địa lý thì thu được trực xạ nhiều nhưng tán xạ và phản xạ thì lại ít, làm cho tổng xạ bị giảm đi.

Đối với các bộ thu để đun nóng nước kiểu tuần hoàn tự nhiên nhờ hiệu ứng siphong nhiệt thì cần đảm bảo độ nghiêng tối thiểu tùy theo cấu hình bộ thu để đảm bảo tuần hoàn của nước, do nhà sản xuất quy định. Với các bộ thu để đun nóng nước kiểu tuần hoàn cưỡng bức (dùng bơm) hoặc các tấm pin mặt trời thì không cần để ý tới điều này, nhưng cũng nên lưu ý đến vấn đề đọng nước và bụi bẩn nếu độ nghiêng quá nhỏ.

#### 4. KẾT LUẬN

Bằng việc sử dụng dữ liệu về bức xạ mặt trời cho trong Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia 02:2009/BXD, đã tìm được góc nghiêng tối ưu và mật độ năng lượng bức xạ trung bình đập tới bề mặt nghiêng ứng với từng tháng, cả mùa hoặc cả năm cho 13 địa phương của Việt Nam. Đối với các địa phương khác có thể nội suy theo hai địa phương lân cận. Kết quả này góp phần làm cơ sở định hướng ban đầu cho việc thiết kế, lắp đặt các thiết bị sử dụng năng lượng mặt trời ở nước ta.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyen Trong Ha, 2011. *Lua chon goc nghieng toi uu cho cac panel mat troi o Ha Tinh*. <http://skhcn.hatinh.gov.vn/read/so-4-2011/news/lua-chon-goc-nghieng-toi-uu-cho-cac-panel-nang-luong-mat-troi-o-ha-tinh.html>.
- [2]. Nguyen Trong Ha, 2011. *Lua chon goc nghieng toi uu cho cac panel mat troi o Quang Ngai*. Quangngai Department of Science and Technology - No.6, 6-9.
- [3]. QCVN 02:2009/BXD.
- [4]. John A. Duffie, William A. Beckman, 2013. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons 2013, Fourth Edition.
- [5]. Paolo Corrada, John Bell, Lisa Guan, Nunzio Motta, 2014. *Optimizing solar collector tilt angle to improve energy harvesting in a solar cooling system*. Energy Procedia 48, 806-812.
- [6]. Runsheng Tang, Yuqin Yang, Wenfeng Gao, 2011. *Comparative studies on thermal performance of water-in-glass evacuated tube solar water heaters with different collector tilt-angles*. Solar Energy 85, 1381–1389.

[7]. S. A. Klein, F. L. Alvarado, *Engineering equation solver*. <http://fchartsoftware.com/ees/>.

[8]. X.M. Chen, Y. Li, Z.G. Zhao, T. Ma, R.Z. Wang, 2018. *General method to obtain recommended tilt and azimuth angles for photovoltaic systems worldwide*. Solar Energy 172, 46-57.

---

#### AUTHOR INFORMATION

**Nguyen Quoc Uy**

Faculty of Energy Technology, Electric Power University