

# XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH NHIỆT ĐỘ TRUNG BÌNH CỘT KHÍ QUYỂN TRÊN LÃNH THỔ VIỆT NAM

Lại Văn Thủy<sup>(1)</sup>, Dư Đức Tiến<sup>(2)</sup>, Mai Khánh Hưng<sup>(2)</sup>, Lê Thị Tuyết Nhung<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

<sup>(2)</sup>Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia

<sup>(3)</sup>Cục Bản đồ Bộ Tổng Tham mưu

## Tóm tắt:

Thành phần nhiệt độ trung bình của cột khí quyển ( $T_m$ ) là một nhân tố đặc biệt quan trọng và có tính chất quyết định đến kết quả tính lượng hơi nước tích tụ PWV từ dữ liệu đo GNSS. Bài báo này trình bày cơ sở lý thuyết và xây dựng công thức thực nghiệm tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$  trên lãnh thổ Việt Nam. Từ số liệu đo tại 6 trạm thám không vô tuyến và số liệu đo khí tượng mặt đất trong tháng 01 năm 2022 tại các trạm này, chúng tôi đã tiến hành đánh giá độ chính xác của các công thức được xác lập, kết quả đánh giá đã cho thấy việc tính toán nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$  theo số liệu nhiệt độ trên mặt đất được thiết lập mới (công thức 11) có sai số trung phương xác định là nhỏ nhất. Đây cũng chính là công thức được chọn để áp dụng tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$  trên lãnh thổ Việt Nam.

## 1. Mở đầu

Hơi nước có vai trò đặc biệt quan trọng trong chu trình nước trên Trái Đất, hơi nước tác động trực tiếp đến hoạt động của khí quyển và các hoạt động thời tiết. Chính vì vậy, công tác đo đạc, tính toán lượng hơi nước tích tụ (PWV) trong cột khí quyển thẳng đứng ngày càng được quan tâm đặc biệt. Từ dữ liệu đo GNSS cho phép xác định lượng hơi nước tích tụ (PWV) thời gian thực, liên tục cả ngày lẫn đêm, trong mọi điều kiện thời tiết. Ngoài ra, phương pháp này có chi phí thấp và là một trong những giải pháp khá phù hợp ở Việt Nam khi số lượng trạm đo GNSS liên tục (trạm CORS) đã hoàn thiện và đưa vào khai thác sử dụng. Độ chính xác tính PWV từ dữ liệu đo GNSS phụ thuộc vào việc xác định nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$ . Hiện nay, người ta thường sử dụng công thức tính  $T_m$  theo [1] dưới đây:

$$T_m = 70.2 + 0.72T \quad (1)$$

Tuy nhiên, ở một số quốc gia có đặc điểm khí quyển phức tạp thì việc sử dụng công thức tính  $T_m$  ở trên có độ chính xác không cao. Việt Nam là một trong những quốc gia có điều kiện khí tượng rất phức tạp, do vậy việc xác định nhiệt độ trung bình của cột khí quyển phù hợp với đặc điểm khí hậu và để nâng cao độ chính xác tính toán lượng hơi nước tích tụ PWV là rất quan trọng, đây cũng chính là vấn đề cần được giải quyết để nhằm nâng cao độ chính xác xác định lượng hơi nước tích tụ (PWV) từ dữ liệu đo GNSS ở Việt Nam.

## 2. Cơ sở lý thuyết trong xác lập công thức tính $T_m$

### 2.1. Tính $T_m$ theo nhiệt độ và áp suất trên mặt đất

Giả sử tại một điểm quan trắc khí tượng trên mặt đất có số liệu đo nhiệt độ và áp suất, chúng ta có thể thiết lập được công thức tính  $T_m$  theo [5] như sau:

$$T_m = a_0 + a_1 T + a_2 P \quad (2)$$

Trong đó:

- $T_m$  là nhiệt độ trung bình của cột khí quyển tại điểm quan trắc (độ K);
- $T$  là nhiệt độ của điểm quan trắc trên mặt đất (độ K);
- $P$  là áp suất của điểm quan trắc trên mặt đất (mbar);
- $a_0, a_1, a_2$  là các hệ số tương ứng với nhiệt độ và áp suất trên mặt đất và cũng chính là các giá trị cần tìm trong công thức cần xây dựng dạng (2).

Nếu tại điểm quan trắc ta có tập hợp gồm  $n$  số liệu đo nhiệt độ, áp suất trên mặt đất tương ứng với tập hợp  $n$  số liệu nhiệt độ trung bình của cột khí quyển ( $T_m$ ) đo bằng phương pháp thám không vô tuyến thì ta có thể lập được hệ phương trình quan hệ dạng:

$$V = AX + L \quad (3)$$

Trong đó:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T_1 & P_1 \\ 1 & T_2 & P_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & T_n & P_n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} (T_m^{TK})_1 \\ (T_m^{TK})_2 \\ \vdots \\ (T_m^{TK})_n \end{bmatrix}$$

Ở đây:

- $(T_m^{TK})_n$  là nhiệt độ trung bình của cột khí quyển nhận được từ kết quả đo thám không vô tuyến của điểm đo  $m$  tại thời điểm đo thứ  $n$ ;  $n = 1, 2, \dots$

Nghiệm của hệ phương trình (3) sẽ được giải theo nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất như sau:

$$X = -(A^T A)^{-1} \cdot A^T L \quad (4)$$

Sau khi tính được các nghiệm ta nhận được các hệ số  $a_0, a_1$  và  $a_2$ ; thay các giá trị này vào công

thức (2) ta nhận được công thức tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển từ số liệu nhiệt độ và áp suất của điểm đo trên mặt đất trong lãnh thổ Việt Nam.

Độ chính xác xác định các hệ số  $a_0, a_1$  và  $a_2$  được xác định theo công thức sau:

$$m_{a_i} = \mu \sqrt{Q_{xx}} \quad (5)$$

Trong đó:

- $m_{a_i}$  là sai số trung phương xác định các hệ số  $a_0, a_1$  và  $a_2$
- $Q_{xx}$  là số hạng trên đường chéo chính thứ  $x$  ( $x = 1, \dots, 3$ ) của ma trận nghịch đảo  $(A^T A)^{-1}$
- $\mu$  là sai số trung phương trọng số đơn vị được tính theo công thức sau:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-3}}$$

Ở đây:

- $V$  được tính theo công thức (3).
- $n$  là số lượng trị đo tham gia tính toán.

## 2.2. Tính $T_m$ theo nhiệt độ mặt đất

Tương tự như trên, giả sử rằng tại một điểm quan trắc khí tượng trên mặt đất có số liệu đo nhiệt độ, ta có thể thiết lập được công thức tính  $T_m$  theo [3] như sau:

$$T_m = b_0 + b_1 T \quad (6)$$

Trong đó:

- $T_m$  là nhiệt độ trung bình của cột khí quyển tại điểm quan trắc (độ K).
- $T$  là nhiệt độ của điểm quan trắc trên mặt đất (độ K).
- $b_0, b_1$  là các hệ số tương ứng với nhiệt độ mặt đất và cũng chính là các giá trị cần tìm trong công thức cần xây dựng dạng (6).

Nếu tại điểm quan trắc ta có tập hợp gồm  $n$  số liệu đo nhiệt độ trên mặt đất tương ứng với tập hợp  $n$  số liệu nhiệt độ trung bình của cột khí quyển đo bằng phương pháp thám không vô tuyến thì ta có thể lập được hệ phương trình quan hệ dạng:

$$V = BX + L \quad (7)$$

Trong đó:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & T_1 \\ 1 & T_2 \\ 1 & T_n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} (T_m^{TK})_1 \\ (T_m^{TK})_2 \\ (T_m^{TK})_n \end{bmatrix}$$

Ở đây:

-  $(T_m^{TK})_n$  là nhiệt độ trung bình của cột khí quyển nhận được từ kết quả đo thám không vô tuyến của điểm đo  $m$  tại thời điểm đo thứ  $n$ ;  $n = 1, 2, \dots$

Nghiệm của hệ phương trình (7) sẽ được giải theo nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất như sau:

$$X = -(B^T B)^{-1} B^T L \quad (8)$$

Sau khi tính được các nghiệm ta nhận được các hệ số  $b_0, b_1$ ; thay các giá trị này vào công thức (6) ta nhận được công thức tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển từ số liệu nhiệt độ của điểm đo trên mặt đất trong lãnh thổ Việt Nam:

Độ chính xác xác định các hệ số  $b_0, b_1$  được xác định theo công thức sau:

$$m_{b_i} = \mu \sqrt{Q_{xx}} \quad (9)$$

Trong đó:

-  $m_{b_i}$  là sai số trung phương xác định các hệ số  $b_0, b_1$

-  $Q_{xx}$  là số hạng trên đường chéo chính thứ  $x$  ( $x = 1, 2$ ) của ma trận nghịch đảo  $(B^T B)^{-1}$

-  $\mu$  là sai số trung phương trọng số đơn vị được tính theo công thức sau:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n - 2}}$$

Ở đây:

-  $V$  được tính theo công thức (7).

-  $n$  là số lượng trị đo tham gia tính toán.

### 3. Xác định các hệ số của công thức tính $T_m$ trên lãnh thổ Việt Nam

#### 3.1. Thông tin về số liệu tính thực nghiệm

Hiện nay, mạng lưới trạm thám không vô tuyến (TKVT) có 06 trạm, phân bố đều trên toàn quốc, bao gồm: Hà Nội, Điện Biên, Bạch Long Vỹ, Vinh, Đà Nẵng, TP. Hồ Chí Minh. Đây là hệ thống quan trắc hiện đại, tự động; số liệu phát báo quốc tế đầy đủ, kịp thời theo quy định, luôn đạt chất lượng cao (> 99%). Nhìn chung hoạt động của mạng lưới trạm TKVT ổn định, chất lượng số liệu đảm bảo độ chính xác phục vụ hiệu quả cho công tác dự báo, cảnh báo khí tượng thủy văn và phòng chống thiên tai trong nhiều năm qua.



Hình 1. Mạng lưới trạm đo thám không vô tuyến

Dữ liệu quan trắc tại 6 trạm thám không vô tuyến gồm có: Nhiệt độ, áp suất, nhiệt độ điểm sương của điểm quan trắc trên mặt đất và dữ liệu đo nhiệt độ, áp suất, nhiệt độ điểm sương tương ứng với 11 tầng khí áp trong khí quyển. Dữ liệu đo thám không vô tuyến của các trạm Bạch Long Vỹ, Điện Biên, Vinh được đo 1 lần/ngày; các trạm Đà Nẵng, Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh được đo 2 lần/ngày.

#### 3.2. Kết quả tính các hệ số của công thức tính $T_m$

Từ dữ liệu đo thám không và số liệu đo khí tượng mặt đất trong các năm 2020 và 2021 chúng tôi đã lập được phương trình tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển theo công thức (2) tại 6 điểm có đo thám không vô tuyến như sau:

*Bảng 1. Kết quả tính hệ số trong công thức tính  $T_m$  từ nhiệt độ và áp suất*

STT	Tên điểm đo	Số lượng điểm tính (n)	Hệ số $a_0$	$m_{a_0}$	Hệ số $a_1$	$m_{a_1}$	Hệ số $a_2$	$m_{a_2}$
1	Bạch Long Vĩ	571	349.784	9.042	0.223	0.009	-0.161	0.007
2	Điện Biên	680	374.763	11.092	0.200	0.010	-0.192	0.009
3	Hà Nội	1130	374.482	8.077	0.207	0.008	-0.180	0.006
4	Vinh	631	379.325	8.396	0.187	0.008	-0.179	0.006
5	Đà Nẵng	1277	363.184	5.404	0.193	0.006	-0.165	0.004
6	TP. Hồ Chí Minh	1305	311.065	7.004	0.214	0.007	-0.120	0.006
	<b>Trung bình cả nước</b>		<b>358.767</b>		<b>0.204</b>		<b>-0.167</b>	

Từ kết quả tính toán các hệ số được tổng hợp ở bảng trên, ta có công thức tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển trên lãnh thổ Việt Nam là:

$$T_m = 358.767 + 0.204T - 0.167P \quad (10)$$

Từ dữ liệu đo thám không và số liệu đo khí tượng mặt đất trong các năm 2020 và 2021 chúng tôi đã lập được phương trình tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển theo công thức (6) tại 6 điểm có đo thám không vô tuyến như sau:

*Bảng 2. Kết quả tính hệ số trong công thức tính  $T_m$  từ nhiệt độ*

STT	Tên điểm đo	Số lượng điểm tính (n)	Hệ số $b_0$	$m_{b_0}$	Hệ số $b_1$	$m_{b_1}$
1	Bạch Long Vĩ	571	133.219	1.663	0.405	0.006
2	Điện Biên	680	141.850	2.320	0.366	0.008
3	Hà Nội	1130	132.166	1.430	0.409	0.005
4	Vinh	631	138.794	1.594	0.387	0.005
5	Đà Nẵng	1277	138.762	1.543	0.386	0.005
6	TP. Hồ Chí Minh	1305	172.638	2.203	0.272	0.007
	<b>Trung bình cả nước</b>		<b>142.904</b>		<b>0.371</b>	

Từ kết quả tính toán các hệ số được tổng hợp ở bảng trên, ta có công thức tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển trên lãnh thổ Việt Nam là:

$$T_m = 142.904 + 0.371T \quad (11)$$

#### **4. Đánh giá độ chính xác của công thức đề xuất tính $T_m$ trên lãnh thổ Việt Nam**

Để đánh giá độ chính xác của công thức (10) và công thức (11) và lựa chọn công thức tính có độ tin cậy nhất, phù hợp trên lãnh thổ Việt Nam,

chúng tôi đã sử dụng số liệu đo tháng 01 năm 2022 tại 6 trạm thám không vô tuyến và số liệu đo mặt đất tương ứng để đánh giá độ chính xác công thức đã đề xuất; việc kiểm chứng được thực hiện thông qua xác định sai số trung phương giữa  $T_m$  tính theo các công thức thiết lập, công thức tổng quát (1) và  $T_m$  nhận được từ số liệu đo thám không vô tuyến (trị đã biết) theo công thức sau:

$$m_{T_m} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{k}} \quad (12)$$

Trong đó:

-  $m_{T_m}$  là sai số trung phương xác định  $T_m$  theo công thức được xác lập hoặc công thức (1) với  $T_m$ .

-  $\Delta$  là chênh lệch giữa kết quả tính  $T_m$  theo công thức được xác lập hoặc công thức (1) với  $T_m$  nhận được từ số liệu đo thám không vô tuyến.

-  $k$  là số lượng trị đo tham gia đánh giá độ chính xác.

Để đánh giá độ chính xác tính nhiệt độ trung bình theo các công thức đề xuất, chúng tôi lập bảng so sánh, đánh giá độ chính xác của công thức theo sai số trung phương trị thực như sau.

#### 4.1. Đánh giá độ chính xác của công thức tính $T_m$ theo nhiệt độ và áp suất trên bề mặt đất

Trong phương án này chúng tôi sẽ tính toán và tổng hợp kết quả đánh giá độ chính xác tính  $T_m$  theo công thức (10) với  $T_m$  nhận được từ kết quả tại 6 trạm đo thám không vô tuyến như sau:

Bảng 3. Kết quả đánh giá độ chính xác tính  $T_m$  theo nhiệt độ và áp suất bề mặt đất

STT	Điểm đo được sử dụng để đánh giá độ chính xác công thức đề xuất	Số lượng trị đo tham gia đánh giá độ chính xác (k)	Trung bình $T_m$ đo trực tiếp bằng thám không vô tuyến (°K)	Trung bình $T_m$ tính theo công thức (10) (°K)	Độ chính xác tính $T_m$ theo công thức (10) (°K)
1	Bạch Long Vĩ	24	250.891	249.334	1.606
2	Điện Biên	24	246.503	257.165	10.675
3	Hà Nội	46	250.611	248.184	2.727
4	Vinh	24	250.981	248.348	2.657
5	Đà Nẵng	41	252.056	249.471	2.605
6	TP. Hồ Chí Minh	48	253.010	250.694	2.345

**Nhận xét:** Độ chính xác tính  $T_m$  theo công thức (10) có giá trị lớn nhất là 10.675°K; nhỏ nhất là 1.606 °K; trung bình trên lãnh thổ Việt Nam là 6.140°K.

#### 4.2. Đánh giá độ chính xác của công thức tính $T_m$ từ nhiệt độ bề mặt đất

Trong phương án này chúng tôi sẽ tính toán và tổng hợp kết quả đánh giá độ chính xác tính  $T_m$  theo công thức (11) và kết quả tính  $T_m$  theo công thức (1) với  $T_m$  nhận được từ kết quả tại 6 trạm đo thám không vô tuyến như sau:

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác tính  $T_m$  theo nhiệt độ trên bề mặt đất

STT	Điểm đo được sử dụng để đánh giá độ chính xác công thức đề xuất	Số lượng trị đo tham gia đánh giá độ chính xác (k)	Trung bình $T_m$ đo trực tiếp bằng thám không vô tuyến (°K)	Trung bình $T_m$ tính theo công thức (11) (°K)	Độ chính xác tính $T_m$ theo công thức (11) (°K)	Trung bình $T_m$ tính theo công thức (1) (°K)	Độ chính xác tính $T_m$ theo công thức (1) (°K)
1	Bạch Long Vĩ	24	250.891	251.093	0.590	280.162	29.282
2	Điện Biên	24	246.503	250.241	3.832	278.509	32.030
3	Hà Nội	46	250.611	250.780	1.478	279.555	29.007
4	Vinh	24	250.981	251.005	0.571	279.991	29.024
5	Đà Nẵng	41	252.056	252.487	0.713	282.868	30.825
6	TP. Hồ Chí Minh	48	253.010	253.626	0.802	285.078	32.085

**Nhận xét:**

- Độ chính xác tính  $T_m$  theo công thức (11) có giá trị lớn nhất là  $3.832^\circ\text{K}$ ; nhỏ nhất là  $0.571^\circ\text{K}$ ; trung bình trên lãnh thổ Việt Nam là  $2.201^\circ\text{K}$ .

- Độ chính xác tính  $T_m$  theo công thức (1) có giá trị lớn nhất là  $32.825^\circ\text{K}$ ; nhỏ nhất là  $29.007^\circ\text{K}$ ; trung bình trên lãnh thổ Việt Nam là  $30.916^\circ\text{K}$ .

- Tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$  theo công thức (11) có độ chính xác nhỏ nhất; tính  $T_m$  theo công thức (10) có độ chính xác lớn hơn tính theo công thức (11) và nhỏ hơn công thức (1). Qua kết quả đánh giá độ chính xác ở trên đã cho thấy: Việc tính  $T_m$  theo công thức (11) trên lãnh thổ Việt Nam có độ chính xác cao nhất.

**5. Kết luận**

Từ số liệu đo thám không vô tuyến của các trạm Bạch Long Vỹ, Điện Biên, Vinh Đà Nẵng, Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh trong năm 2020 và 2021, chúng tôi đã thiết lập được công thức tính nhiệt độ trung bình của cột khí quyển  $T_m$  phù hợp với đặc điểm, điều kiện khí tượng của Việt Nam như sau:

$$T_m = 142.904 + 0.371T$$

Kết quả đánh giá độ chính xác từ số liệu đo thám không vô tuyến trong tháng 01 năm 2022

đã cho thấy việc tính  $T_m$  theo công thức trên (công thức 11) có độ chính xác cao nhất. Để đảm bảo được việc tính toán  $T_m$  với độ tin cậy cao hơn thì cần tiếp tục đánh giá thêm độ chính xác của công thức được xác lập ở các thời điểm đo tương ứng với các mùa trong năm./.

**Tài liệu tham khảo**

[1]. S. Boutioutaa and A. Lahceneb, *Preliminary study of GNSS meteorology techniques in Algeria*, International Journal of Remote Sensing, 2013, Vol. 34, No. 14, 5105–5118, <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.786850>.

[2]. B. Chen et al., *Constructing a precipitable water vapor map from regional GNSS network observations without collocated meteorological data for weather forecasting*, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5153-2018>.

[3]. Li Li et al., *Seasonal Multifactor Modelling of Weighted-Mean Temperature for Ground-Based GNSS Meteorology in Hunan, China*, <https://doi.org/10.1155/2017/3782687>.

[4]. Nesreen M. Elhaty et al., *GNSS meteorology in Egypt: Modeling weighted mean temperature from radiosonde data*, Alexandria Engineering Journal (2019), [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

[5]. Xu Tang et al., *Precipitable Water Vapour Retrieval from GPS Precise Point Positioning and NCEP CFSv2 Dataset during Typhoon Events*, [www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors).

**Summary**

**Building formulas for calculating the weighted mean temperature of the atmosphere ( $T_m$ ) in Vietnam**

*Lai Van Thuy, Vietnam Institute of Geodesy and Cartography*

*Du Duc Tien, Mai Khanh Hung, Vietnam National Center for Hydro-Meteorological Forecasting*

*Le Thị Tuyen Nhung, Army Cartographic Department*

The weighted mean temperature of the atmosphere ( $T_m$ ) is a particularly important and decisive factor in the calculation results of precipitable water vapor (PWV) from GNSS measurement data. This paper presents the theoretical basis and formulas for calculating the weighted mean temperature of the atmosphere ( $T_m$ ) in Vietnam. The measured data at 6 radiosondes stations and ground-meteorological data in January of 2022 are used in evaluating the accuracy of the established formulas, the evaluated results have shown that the new formula (11) has the smallest mean square error. This is also the formula chosen to apply the weighted mean temperature of the atmosphere ( $T_m$ ) in Vietnam.