

TÍNH HỆ GIẪNG GIÓ TRONG CẦU TREO THEO SƠ ĐỒ BIẾN DẠNG

Nguyễn Minh Hùng^{a,*}

^a*Khoa Cầu đường, Đại học Xây dựng, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 09/08/2018, Sửa xong 13/09/2018, Chấp nhận đăng 29/10/2018

Tóm tắt

Để hạn chế sự lắc ngang của hệ mặt cầu trong cầu treo dân sinh dưới tác dụng của gió, cần phải bố trí các dây giằng gió và dây giằng ngang trong những cầu có chiều dài nhịp lớn hơn 80 mét hoặc có tỷ lệ giữa chiều dài nhịp và chiều rộng cầu từ 35 trở lên. Bài báo này trình bày một cách tính chuyển vị ngang của hệ mặt cầu và lực căng trong các dây giằng gió trong cầu treo một nhịp, qua việc thành lập phương trình lực căng trong dây trên cơ sở lý thuyết dây mềm và thuật toán tính lặp. Hệ được tính theo sơ đồ biến dạng, có xét tới độ cứng uốn trong mặt phẳng nằm ngang của hệ mặt cầu; tải trọng bản thân của hệ giằng gió; các mố neo dây có thể đặt tại vị trí bất kỳ. Thông qua ví dụ tính toán, đưa ra nhận xét về sự sai khác của kết quả tính, khi không xét và có xét đến vai trò của các tham số nêu trên.

Từ khoá: hệ giằng gió; dây giằng gió; dây giằng ngang; hệ mặt cầu; mố neo; lực căng; chuyển vị ngang.

THE ANALYSIS A WIND-BRACING SYSTEM OF SUSPENSION CABLE BRIDGE ACCORDING TO DEFORMED SCHEME

Abstract

To mitigate lateral swaying of the suspension footbridge's deck system under ambient wind, wind-bracing cables and transverse cables should be arranged in the one that has the span length more than 80 meters or having the ratio between the span length and the deck width from 35 upwards. This paper presents a method to calculate lateral displacements of the deck system and tension forces in the pre-stress wind-bracing cables for the single-span suspension bridges by establishing horizontal tension equations, which are based on the flexible string theory and the iteration algorithm. The bridge structures are analyzed by means of deformation scheme method. Lateral bending stiffness of the deck system, self-weights of the wind-bracing system, and locations of the anchored points are also considered in the calculation. A case study is performed in a comparison fashion when above parameters are changed, included, or excluded.

Keywords: wind-bracing system; wind-bracing cable; transverse cable; deck system; anchored point; horizontal tension; lateral displacements.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(7\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(7)-01) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Ở nước ta, các cầu treo dân sinh có chiều dài nhịp từ 80 m trở lên hoặc lớn hơn 35 lần bề rộng cầu, được quy định phải bố trí hệ giằng gió (còn gọi là dây neo chống dao động ngang) [1]. Các dây giằng gió bố trí ở hai bên hệ mặt cầu, hai đầu dây neo vào các mố neo, chúng được liên kết với hệ mặt cầu bởi các dây giằng ngang (Hình 1).

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: hungnm@nuce.edu.vn (Hùng, N. M.)



Hình 1. Hệ giằng gió trong cầu treo [2]

Khi thi công, người ta phải điều chỉnh lực dọc trong các dây giằng ngang để tạo lực căng ban đầu trong các dây giằng gió. Tiết diện dây giằng gió và lực căng ban đầu phải đủ, để khi chịu tải trọng gió, dây không bị đứt; hệ mặt cầu không bị chuyển vị ngang quá lớn.

Để tính toán hệ giằng gió, có thể sử dụng các phần mềm thương mại phân tích kết cấu lưu hành trên thị trường [3]. Khi tính theo các phần mềm này, việc khai báo các dữ liệu đầu vào khá phức tạp và phải mất nhiều thời gian. Một số kỹ sư thiết kế đã coi hệ chỉ có một dây giằng gió làm việc, sơ đồ tính là dây đơn một nhịp đối xứng, có chiều dài bằng chiều dài nhịp của hệ mặt cầu, không tính tải trọng bản thân của dây. Cách tính này tuy đơn giản, nhưng kết quả kém chính xác.

Đặc điểm của hệ treo nói chung và hệ giằng gió nói riêng là phi tuyến hình học. Các phương pháp tính hệ treo theo sơ đồ biến dạng có thể phân thành hai nhóm: Nhóm các phương pháp giải tích và nhóm các phương pháp số [4]. Nội dung được giới thiệu trong bài viết này là thành lập phương trình lực căng và thuật toán tính hệ giằng gió căng trước cầu treo một nhịp theo hướng giải tích, trên cơ sở lý thuyết dây mềm. Hệ được tính theo sơ đồ biến dạng, có xét tới độ cứng uốn trong mặt phẳng nằm ngang của hệ mặt cầu; tải trọng bản thân của dây giằng gió; các mỏ neo dây có thể tại vị trí bất kỳ.

2. Bài toán cơ sở

Xét dây nằm trong mặt phẳng zOx (gọi là mặt phẳng của dây). Hai đầu dây liên kết vào hai gối cố định. Dây có chiều dài nhịp l . Đường nối tim hai gối tạo với trục z một góc β (Hình 2). Tính dây làm việc ở hai trạng thái. Chấp nhận các giả thiết được nêu trong lý thuyết dây mềm [5].

a. Trạng thái ban đầu:

Dây chịu các tải trọng q_x và q_y , trong đó q_x nằm trong mặt phẳng của dây, tác dụng theo phương trục x , phân bố đều trên một đoạn có chiều dài b (Hình 2); q_y phân bố đều trên toàn bộ chiều dài nhịp của dây, tác dụng theo phương của trục y (vuông góc với mặt phẳng của dây).

Trong mặt phẳng của dây, đường tên của dây tại vị trí cách gối trái một đoạn a , ứng với vị trí $b/2$, bằng f_x . Lực căng trong dây được tính theo công thức:

$$H_0 = \frac{M_{xf}}{f_x} \quad (1)$$

trong đó M_{xf} là mô men uốn trong dầm đơn giản có chiều dài nhịp l , ứng với vị trí có đường tên f_x , do tải trọng q_x tác dụng lên dầm gây ra. Với sơ đồ tải trọng tác dụng như trên Hình 2, có thể tính được:

$$H_0 = \frac{q_x}{f_x} \left(ab - \frac{a^2 b}{l} - \frac{b^2}{8} \right) \quad (2)$$

Dây có chiều dài L_0 , được tính theo công thức [6]:

$$L_0 = \frac{l}{\cos \beta} + \frac{1}{2H_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y}) \quad (3)$$

trong đó

$$D_{0x} = \int_l Q_{0x}^2 dz \quad (4)$$

$$D_{0y} = \int_l Q_{0y}^2 dz \quad (5)$$

Q_{0x} , Q_{0y} là lực cắt trong dầm đơn giản có chiều dài nhịp l , do tải trọng q_x , q_y tác dụng lên dầm gây ra. Vẽ biểu đồ lực cắt và thực hiện phép tính nhân biểu đồ, sẽ được:

$$D_{0x} = q_x^2 b^2 \left(a - \frac{a^2}{l} - \frac{b}{6} \right) \quad (6)$$

$$D_{0y} = \frac{q_y^2 l^3}{12} \quad (7)$$

b. Trạng thái tính toán:

Trong mặt phẳng của dây, dây chịu thêm tải trọng phân bố đều p_x tác dụng trên đoạn b ; nhiệt độ môi trường tăng lên (hoặc giảm) t độ; gối trái chuyển vị ngang theo hướng trục z một đoạn δ , chuyển vị đứng theo hướng trục x một đoạn v ; do có dãn dư, dây dài thêm một đoạn là Δs . Cần tính lực căng H_1 trong dây. Giả thiết góc nghiêng giữa hai gối vẫn là β khi chịu các nguyên nhân trên.

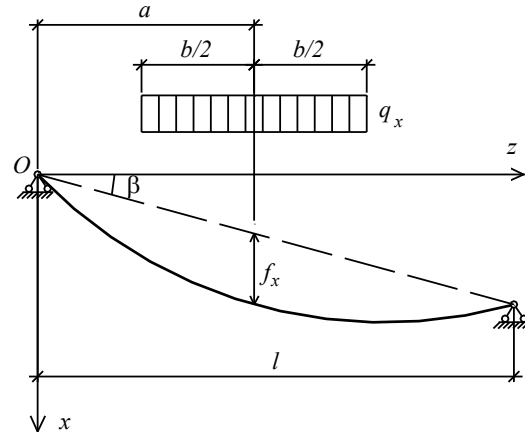
Biến dạng của dây do thay đổi nội lực, nhiệt độ và dây bị dãn dư:

$$\Delta L = \frac{H_1 - H_0}{EF \cos^2 \beta} l + \alpha t L_0 + \Delta s \quad (8)$$

trong đó EF là độ cứng của dây; α là hệ số giãn nở vì nhiệt vật liệu làm dây.

Chiều dài dây và ảnh hưởng do chuyển vị cưỡng bức của gối đến chiều dài dây được tính theo công thức [6]:

$$L_1 = \frac{l}{\cos \beta} - \delta \cos \beta - v \sin \beta + \frac{1}{2H_1^2} (D_{1x} \cos^3 \beta + D_{1y}) \quad (9)$$



Hình 2. Sơ đồ tính dây

trong đó

$$D_{1x} = (q_x + p_x)^2 b^2 \left(a - \frac{a^2}{l} - \frac{b}{6} \right) \quad (10)$$

$$D_{1y} = D_{0y} \quad (11)$$

Giữa các đại lượng L_1, L_0 và ΔL có quan hệ:

$$L_1 = L_0 + \Delta L \quad (12)$$

Thay các giá trị ở (3), (8) và (9) vào (12), sẽ được:

$$\begin{aligned} \frac{l}{\cos \beta} - \frac{\delta \cos^2 \beta + \nu \sin \beta \cos \beta}{\cos \beta} + \frac{1}{2H_1^2} (D_{1x} \cos^3 \beta + D_{1y}) &= \frac{l}{\cos \beta} + \frac{1}{2H_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y}) + \\ &+ \frac{H_1 - H_0}{EF \cos^2 \beta} l + \frac{\alpha t l}{\cos \beta} + \frac{\alpha t}{2H_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y}) + \Delta s \end{aligned} \quad (13)$$

Bỏ qua $\frac{\alpha t}{2H_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y})$ vì rất nhỏ so với $\frac{1}{2H_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y})$, sau khi rút gọn và biến đổi (nhân 2 về với $\frac{EF}{l} \cos^2 \beta$ sau đó nhân với H_1^2), sẽ được phương trình lực căng trong dây:

$$H_1^3 + \left[\begin{array}{l} \frac{EF \cos^2 \beta}{2lH_0^2} (D_{0x} \cos^3 \beta + D_{0y}) - H_0 + \\ + \frac{EF}{l} (\delta \cos^3 \beta + \nu \sin \beta \cos^2 \beta + \alpha t l \cos \beta + \Delta s \cos^2 \beta) \end{array} \right] H_1^2 - \frac{EF \cos^2 \beta}{2l} (D_{1x} \cos^3 \beta + D_{1y}) = 0 \quad (14)$$

Chuyển vị của dây tại vị trí cách gối trái một đoạn a (Hình 2) được tính theo công thức:

$$\Delta_{fx} = \frac{q_x + p_x}{H_1} \left(ab - \frac{a^2 b}{l} - \frac{b^2}{8} \right) - f_x \quad (15)$$

3. Tính hệ có hai dây giằng gió căng trước chịu tải trọng gió tĩnh

Xét hệ gồm hai dây giằng gió, nằm trong mặt phẳng nằm ngang, liên kết với hệ mặt cầu thông qua các dây giằng ngang. Các kích thước cơ bản được thể hiện trên Hình 3. Hệ mặt cầu được coi là dầm mềm. Ảnh hưởng của các dây chủ và dây treo đứng của cầu treo đến chuyển vị ngang của hệ mặt cầu khá nhỏ [7], nên được bỏ qua. Tính hệ làm việc ở hai trạng thái.

a. Trạng thái ban đầu:

Dây giằng gió 1 và dây giằng gió 2 chịu tải trọng căng trước các dây giằng ngang, được coi là phân bố đều q_x trên đoạn có chiều dài b . Đường tên của dây 1 tại vị trí cách gối trái một đoạn a_1 , ứng với $b/2$, bằng f_{x1} ; Đường tên của dây 2 tại vị trí cách gối phải một đoạn a_2 , ứng với $b/2$, bằng f_{x2} ; Lực căng trong dây 1 và dây 2 tính theo công thức:

$$H_{01} = \frac{q_x}{f_{x1}} \left(a_1 b - \frac{a_1^2 b}{l} - \frac{b^2}{8} \right) \quad (16)$$

$$H_{02} = \frac{q_x}{f_{x2}} \left(a_2 b - \frac{a_2^2 b}{l_2} - \frac{b^2}{8} \right) \quad (17)$$

Ngoài ra, mỗi dây giằng gió còn chịu tải trọng bản thân q_y phân bố đều trên toàn bộ chiều dài nhịp của dây, tác dụng theo phương vuông góc với mặt phẳng của dây.

b. Trạng thái tính toán:

Hệ chịu thêm tải trọng gió phân bố đều p_x tác dụng trên toàn bộ chiều dài của hệ mặt cầu. Khi đó, thông qua các dây giằng ngang, trên đoạn b của dây giằng gió 1 sẽ chịu thêm p_{1x} , trên đoạn b của dây giằng gió 2 chịu thêm p_{2x} , sao cho $p_{1x} + p_{2x} = p_x$.

Sử dụng phương trình (14) và công thức (15) để tính lực căng và chuyển vị của mỗi dây giằng gió do p_{1x} tác dụng lên dây 1 và do p_{2x} tác dụng lên dây 2.

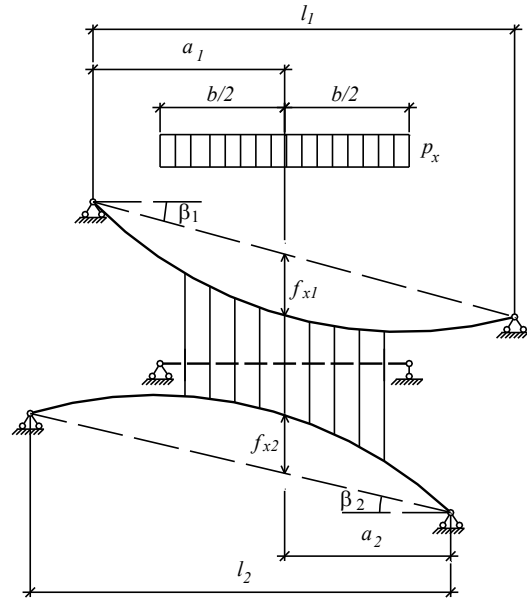
Việc tính toán sẽ được thực hiện nhiều lần với các cặp trị số tải trọng p_{1x} và p_{2x} khác nhau, cho đến khi chuyển vị tại vị trí ứng với $b/2$ của hai dây thoả mãn điều kiện $\Delta_{f_{x1}} = -\Delta_{f_{x2}}$.

Sau đây là trình tự các bước tính toán:

1. Vào các kích thước và đặc trưng hình học;
2. Vào tải trọng bản thân dây chủ q_y và tải trọng gió p_x ;
3. Chọn lực căng trước các dây giằng ngang q_x ;
4. Tính H_{01}, D_{0x1}, D_{0y1} theo các công thức (16), (6), (7);
5. Tính H_{02}, D_{0x2}, D_{0y2} theo các công thức (17), (6), (7);
6. Cho $p_{1x} = p_{1x \min}$;
7. Tính D_{1x1} theo công thức (10);
8. Tìm H_{11} từ phương trình (14);
9. Tính $\Delta_{f_{x1}}$ theo công thức (15);
10. $p_{2x} = p_x - p_{1x}$;
11. Tính D_{1x2} theo công thức (10);
12. Tìm H_{12} từ phương trình (14);
13. Tính $\Delta_{f_{x2}}$ theo công thức (15);
14. Kiểm tra điều kiện $\Delta_{f_{x1}} = -\Delta_{f_{x2}}$. Nếu không thoả mãn, tăng p_{1x} , quay lại bước 7;
15. Kiểm tra điều kiện các dây giằng ngang không bị nén. Nếu không thoả mãn, tăng q_x , quay lại bước 4;
16. Xuất kết quả tính toán;
17. Kết thúc.

4. Tính hệ có dầm cứng và hai dây giằng gió căng trước chịu tải trọng gió tĩnh

Hệ tương tự như trên Hình 3. Dầm mặt cầu có chiều dài l_d và độ cứng uốn trong mặt phẳng nằm ngang EI . Bỏ qua ảnh hưởng của các dây chủ và dây treo đứng của cầu treo đến chuyển vị ngang của dầm mặt cầu.



Hình 3. Sơ đồ tính hệ có hai dây căng trước

a. Trạng thái ban đầu:

Dây 1 và dây 2 chịu tải trọng q_x trên đoạn có chiều dài b do căng trước các dây giằng ngang và chịu tải trọng q_y trên chiều dài nhịp của mỗi dây. Dầm cứng chưa làm việc.

b. Trạng thái tính toán:

Tải trọng gió phân bố đều p_x tác dụng trên đoạn l_d . Sử dụng hai mặt cắt, cắt qua tất cả các dây giằng ngang, tách hệ ra thành 3 bộ phận riêng biệt: Dây 1, dầm cứng và dây 2. Khi đó, dây 1 sẽ chịu p_{1x} , dây 2 chịu p_{2x} , dầm cứng chịu p_{3x} , sao cho $p_{1x} + p_{2x} + p_{3x} = p_x$. Lực căng và chuyển vị của dây 1 và dây 2 được tính như đã trình bày ở mục 3. Độ võng tại giữa nhịp của dầm cứng được tính theo công thức:

$$\Delta_{xd} = \frac{5p_{3x}l_d^4}{384EI} \quad (18)$$

Việc tính toán sẽ được thực hiện nhiều lần với mỗi ba trị số tải trọng p_{1x} , p_{2x} và p_{3x} khác nhau, cho đến khi thỏa mãn điều kiện $\Delta_{fx1} = -\Delta_{fx2} = \Delta_{xd}$.

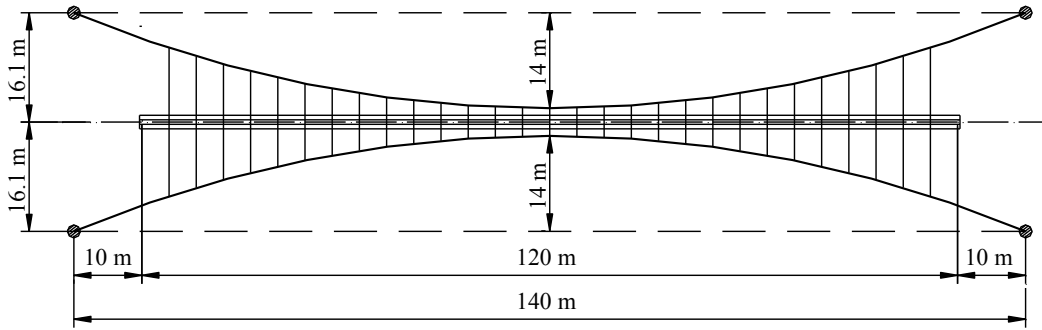
Trình tự các bước tính toán:

1. Vào các kích thước và đặc trưng hình học;
2. Vào tải trọng bản thân dây chủ q_y và lực gió p_x ;
3. Chọn lực căng trước các dây giằng ngang q_x ;
4. Tính H_{01}, D_{0x1}, D_{0y1} theo các công thức (16), (6), (7);
5. Tính H_{02}, D_{0x2}, D_{0y2} theo các công thức (17), (6), (7);
6. Cho $p_{xc} = p_{xc \min}$, (trong đó p_{xc} là tổng tải trọng gió do dây 1 và dây 2 cùng chịu);
7. Cho $p_{1x} = p_{1x \min}$;
8. Tính D_{1x1} theo công thức (10);
9. Tìm H_{11} từ phương trình (14);
10. Tính Δ_{fx1} theo công thức (15);
11. $p_{2x} = p_{xc} - p_{1x}$;
12. Tính D_{1x2} theo công thức (10);
13. Tìm H_{12} ; từ phương trình (14);
14. Tính Δ_{fx2} theo công thức (15);
15. Kiểm tra điều kiện $\Delta_{fx1} = -\Delta_{fx2}$. Nếu không thỏa mãn, tăng p_{1x} , quay lại bước 8;
16. $p_{3x} = p_x - p_{xc}$;
17. Tính Δ_{xd} theo công thức (18);
18. Kiểm tra điều kiện $\Delta_{xd} = \Delta_{fx1}$. Nếu không thỏa mãn, tăng p_{xc} , quay lại bước 7;
19. Kiểm tra điều kiện các dây giằng ngang không bị nén. Nếu không thỏa mãn, tăng q_x , quay lại bước 4;
20. Xuất kết quả tính toán;
21. Kết thúc.

5. Ví dụ tính toán

Tham khảo một sơ đồ cầu treo dân sinh trong tài liệu [8]. Chọn hệ có cấu tạo và các kích thước cơ bản như trên Hình 4. So với hồ sơ gốc, vị trí đặt các điểm neo dây vào mố neo được dịch 10m về phía bờ sông.

Mỗi bên có một dây cáp giằng gió, đường kính 24 mm. Các dây giằng ngang đường kính 10 mm, trên phương dọc cầu bố trí cách nhau 4,0 m. Trên mặt cắt ngang cầu có 4 dầm dọc, tiết diện 2C100.



Hình 4. Sơ đồ cấu tạo các kích thước cơ bản hệ giằng gió

Mặt cầu ghép từ các tấm Grating chế tạo sẵn. Tải trọng gió tác dụng lên kết cấu cầu $p_x = 1,0 \text{ KN/m}$. Lực kéo trước trong mỗi dây giằng ngang $Q_x = 0,3 \text{ KN}$.

Việc tính toán được thực hiện cho 4 sơ đồ:

- Sơ đồ 1: Chỉ tính một dây giằng gió làm việc, không xét độ cứng uốn của dầm, không tính tải trọng bản thân dây.

- Sơ đồ 2: Tương tự sơ đồ 1, nhưng cả hai dây giằng gió cùng làm việc.

- Sơ đồ 3: Tương tự sơ đồ 2, nhưng xét thêm độ cứng uốn của dầm $EI = 525700 \text{ cm}^4$.

- Sơ đồ 4: Tương tự sơ đồ 3, nhưng có tính đến tải trọng bản thân của dây giằng gió, các dây giằng ngang và các chi tiết liên kết $p_y = 0,05 \text{ KN/m}$.

Từ thuật toán được giới thiệu trong mục 4, tác giả bài viết này đã lập chương trình tính toán bằng ngôn ngữ Turbo Pascal. Kết quả tính ghi trên Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính toán

Tham số	Sơ đồ 1	Sơ đồ 2	Sơ đồ 3	Sơ đồ 4
Sơ đồ tính dây giằng gió	1 dây	2 dây	2 dây	2 dây
Sơ đồ tính dầm mặt cầu	Dầm mềm	Dầm mềm	Dầm cứng	Dầm cứng
Tải trọng bản thân của dây	Bỏ qua	Bỏ qua	Bỏ qua	Có tính
Lực căng trong dây giằng gió 1 (KN)	286,67	212,04	201,76	207,64
Lực căng trong dây giằng gió 2 (KN)	0	47,2	57,39	67,59
Độ dịch chuyển ngang của hệ (mm)	956	347	305	349

Từ kết quả trên, nhận thấy:

- Đối với hệ có cấu tạo hai dây giằng gió, nếu tính theo sơ đồ một dây, việc tính toán rất đơn giản, nhưng kết quả tính có sai số rất lớn. Cần phải tính trên sơ đồ hai dây.

- Khi tính trên sơ đồ hai dây, nếu xét đến độ cứng uốn trong mặt phẳng nằm ngang của hệ mặt cầu, thì lực căng trong dây giảm 5%, độ dịch chuyển ngang của hệ giảm 12% so với trường hợp không xét.

- Nếu tính đến tải trọng bản thân của dây giằng gió; các dây giằng ngang và các chi tiết liên kết, thì lực căng trong dây tăng 3%, độ dịch chuyển ngang của hệ tăng 14% so với trường hợp bỏ qua.

6. Kết luận

Cách tính hệ hai dây giằng gió căng trước trong cầu treo một nhịp, có xét tới độ cứng uốn trong mặt phẳng nằm ngang của hệ mặt cầu; tải trọng bản thân của dây giằng gió; vị trí linh hoạt của mố neo dây, đã phản ánh chính xác hơn sự làm việc của hệ, đáp ứng nhu cầu thiết kế và xây dựng hàng ngàn cầu treo dân sinh ở nước ta hiện nay.

Tài liệu tham khảo

- [1] Bộ Giao thông vận tải (2015). *Hướng dẫn công tác thiết kế, thi công và nghiệm thu cầu treo dân sinh*. Thông tư số 38/2015/TT-BGTVT ngày 30 tháng 7 năm 2015, sửa đổi, bổ sung một số điều của Thông tư số 11/2014/TT-BGTVT ngày 29 tháng 4 năm 2014 của Bộ trưởng bộ Giao thông vận tải.
- [2] Japan Travel. *Kinugawa Tateiwa Otsuribashi Bridge - A stunning suspension bridge over the Kinugawa river*. Truy cập ngày 01/06/2018.
- [3] Trung, N. V., Hà, H. (2004). *Thiết kế cầu treo dây võng*. NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Дмитриев Ю. В, Дороган А.С. (2008). Аналитические методы расчета висячих и вантовых мостов. Издательство ДВГУПС, Хабаровск.
- [5] Качурин В. К. (1962). Теория висячих систем. Госстройиздат, Москва.
- [6] Trình, L. T. (1985). *Cách tính hệ treo theo sơ đồ biến dạng*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [7] Hermansson, V., Holma, J. (2015). *Analysis of suspended bridges for isolated communities*. Division of Structural Engineering, Faculty of Engineering, LTH P.O. Box 118 S-221 00 LUND, Sweden.
- [8] Tổng công ty Tư vấn thiết kế Giao thông vận tải (2016). *Hồ sơ thiết kế mẫu cầu treo dân sinh, phiên bản 2.0*. Số hiệu 14-TEDI-22-HC.