

# ỨNG DỤNG THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC SHMS CHO CẦU CẦN GIỜ

Lê Thị Bích Thủy

Trường Đại học Văn Lang

Bùi Thanh Bảo

Ban QLDA ĐTXD các công trình giao thông

Nguyễn Bá Cao

Viện Kỹ thuật Biển

**Tóm tắt:** Hệ thống SHMS (Structural Health Monitoring System) được lắp đặt trên một số bộ phận trên cầu từ lúc bắt đầu xây dựng và hoạt động liên tục theo suốt vòng đời của cầu (vĩnh cửu - 100 năm). Qua các dữ liệu được truyền từ bộ phận cảm biến về trung tâm phân tích dữ liệu, các nhà quản lý khai thác và các chuyên gia có thể phân tích và cảnh báo các nguy cơ có thể sắp diễn ra hoặc đã xảy ra (ví dụ mức độ quá tải trên cầu (over load), các vết nứt, độ lún, mức độ dao động khi xảy ra động đất, ...). Từ đó, đề ra các giải pháp xử lý để hệ thống cầu có tuổi thọ cao nhất có thể, đồng thời đánh giá được tính hiệu quả theo các mục tiêu đặt ra, từ đây là một trong các cơ sở để nghiên cứu và hoàn thiện kết cấu cầu đạt chất lượng khai thác tốt nhất, hệ thống quan trắc SHMS giải quyết 3 vấn đề lớn, như sau:

- Quan trắc tác động của môi trường lên kết cấu: đo gió, đo nhiệt độ không khí, đo độ ẩm tương đối của không khí, đo lượng mưa, đo chấn động địa chấn;

- Quan trắc phản ứng của kết cấu: Đo nhiệt độ các bộ phận của kết cấu, đo ứng suất - biến dạng, đo ảnh hưởng tĩnh, đo chuyển vị, đo lực căng của dây cáp, đo độ nghiêng của trụ tháp, đo dao động, đo độ ăn mòn;

- Quan trắc tải trọng và lưu lượng giao thông trên cầu: trọng lượng xe, camera.

Tuy nhiên ở Việt Nam có rất ít các tài liệu chỉ dẫn thiết kế cụ thể, trong phạm vi bài báo này tác giả trình bày thiết kế hệ thống quan trắc SHMS cho cầu dây văng.

**Summary:** Structural health monitoring system (SHMS) is installed on the some structures from the beginning of construction and over the life of the bridge (abiding 100 years). Datas are tranfered from sensor to process center data, the managemert and fprofessional can be analysis and warning about risks can happen. (ex: overload , crack, settlement, ...). From there, propose solutions to the bridge system with the longest life expectancy, and evaluate the effectiveness according to the set targets. From here, it's one of the bases for researching and perfecting the structure to achieve the best exploitation quality. SHMS is solve three problems, such as:

- Observe the impact of the environment on the structure: Measure wind, temperature air, relative humidity of the air, seismic vibration;

- Observe the impact of structure: Measure temperature on the parts of the structure, stress and deformation, displacement , tension of cable, tilt of the tower, oscillation and corrosion;

- Observe the impact of the live load and vehicle traffic on the bridge: weight of vehicle, camera.

However, there are very few specific design instructon documents in Viet Nam, scope of article the author design SMHS for cable stayed bridges.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Chủ trương đầu tư xây dựng cầu Cần Giờ thay thế bến phà Bình Khánh hiện hữu được Thủ tướng chính phủ đồng ý theo văn bản 10811/SGTVT-KH ngày 16/08/2016. Cầu Cần

Giờ thuộc địa phận huyện Nhà Bè và huyện Cần Giờ, thành phố Hồ Chí Minh có điểm đầu là điểm cuối của đường Huỳnh Tấn Phát, huyện Nhà Bè kết nối vào đường Rừng Sác, huyện Cần Giờ [2].

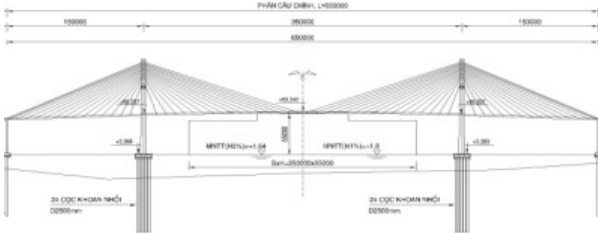
Ngày nhận bài: 14/9/2020

Ngày thông qua phản biện: 20/10/2020

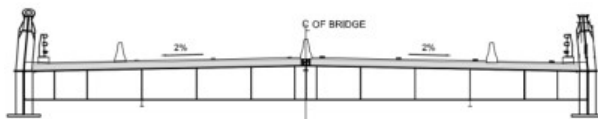
Ngày duyệt đăng: 27/10/2020



Hình 1: Phối cảnh cầu Cần Giờ



Hình 2: Bố trí chung cầu Cần Giờ



Hình 3: Mặt cắt ngang cầu chính



Hình 4: Mặt bằng cầu Cần Giờ

❖ Quy mô:

- Sơ đồ cầu: 0.52m + 39.15m + 26x40m + 43.2m+ (150m + 350m + 150m) + 43.2m + 26x40m + 39.15m + 0.52m;
- Chiều dài toàn cầu tính đến 2 đuôi móng khoảng 2895.74m;
- Chiều dài đoạn đường đầu cầu 551m trong đó 246m đường đầu cầu có tường chắn và 305m đoạn vượt nổi vào đường hiện hữu;
- Cầu chính: Dạng cầu dây văng dầm thép I liên hợp bố trí theo sơ đồ: (150m+350.0m+150m);
- Cầu dẫn: Dùng dầm Super-T, bản mặt cầu liên tục nhiệt;
- Trụ tháp: Bố trí 2 trụ tháp bằng BTCT DUL  $f_c = 50$  MPa, chiều cao H= 125.4m tính từ đỉnh bệ, móng cọc khoan nhồi đường kính D= 2.5m;
- Trụ neo: Bằng BTCT DUL đổ tại chỗ, móng

- cọc khoan nhồi D= 2.5m;
- Trụ cầu dẫn, móng: Bằng BTCT đổ tại chỗ, móng cọc khoan nhồi D=1.5m;
- Tải trọng: HL93; Người đi bộ: 3kN/m<sup>2</sup>;
- Độ tĩnh không thông thuyền: H=55m, B=250m;
- Độ cao tháp trụ: 125.4m;
- Cấp độ đất: cấp 7 thang MSK - 64

❖ Mặt cắt ngang cầu chính

- Bề rộng làn ô tô 4x3.7 =15.00m (m) 5
- Dải an toàn (m) 4x0.5 =2.00m 0
- DPC giữa (m) =0.50m
- Lan can cầu (m) 2x0.5 =1.00m
- Bề rộng phần neo 2x1.5 =3.00m
- cáp dây văng
- Tổng bề rộng (m) =21.50m

2. THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC SHMS

2.1 Mục tiêu quan trắc cầu Cần Giờ:

Các mục tiêu của hệ thống quan trắc SHMS cho cầu Cần Giờ là để bảo đảm độ chính xác và quy trình thi công an toàn với việc cung cấp các dữ liệu đo đạc trong giai đoạn thi công, thiết lập các phương pháp quản lý có hệ thống và khoa học để đánh giá ứng xử kết cấu và tính bền vững của cầu trong giai đoạn khai thác, đồng thời kịp đưa ra các cảnh báo trong các trường hợp khẩn cấp. Căn cứ vào mục tiêu trên và đặc điểm của kết cấu thì nội dung chính cần được tiến hành là:

- + Thu thập các số liệu thời tiết như: lượng mưa, tốc độ gió, hướng gió, ...;
- + Thu thập các thông số địa chấn;
- + Các số liệu về lưu lượng xe, tải trọng lưu thông qua cầu;
- + Các thông số đặc trưng các bộ phận của kết cấu chính là trụ tháp, cáp chủ, dầm thép chủ;

- ✓ Biên dạng, độ nghiêng, ....;
- ✓ Đo lực căng trong cáp chủ;
- ✓ Đo ứng suất, dao động của dầm thép và ảnh hưởng nhiệt lên dầm thép.

Các hạng mục đo đạc trong quá trình thi công và khai thác được thể hiện trong bảng 1, 2 và các hình 5, 6, 9, 10.

## 2.2 Xác định các vị trí cần quan trắc:

Cầu Cần Giờ là một cầu dây văng thép liên hợp nhịp dài và các thành phần kết cấu chính của cầu là trụ tháp, cáp và dầm. Vì vậy, hầu hết các bộ cảm biến được bố trí trong trụ tháp, cáp và dầm.

### 2.2.1 Trụ tháp:

Các cảm biến trong trụ tháp được lắp đặt trong cả giai đoạn thi công và khai thác. Bản vẽ bố trí được đính kèm theo ở phần dưới.

#### - Đo biến dạng:

- + Nội dung đo: biến dạng (ứng suất) trong tháp gây ra bởi các lực kéo cáp;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí 4 thiết bị đo biến dạng, trong đó bao gồm 2 vị trí tại cạnh bệ tháp của tháp PY1 và 2 vị trí tại cạnh bệ tháp của tháp PY2;
- + Thiết bị đo: sử dụng loại kháng điện hoặc loại dây rung.

#### - Đo nghiêng:

- + Nội dung đo: GPS đánh giá độ thẳng đứng và hình dạng của tháp;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí 4 vị trí, trong đó bao gồm:
  - 1 tại đỉnh tháp PY1;
  - 1 tại đỉnh tháp PY2;
  - 1 tại trung điểm mặt cầu nhịp giữa;
  - 1 tại vị trí cơ sở (để so sánh);
- Thiết bị đo: sử dụng máy RTK.

#### - Đánh giá hình dạng tổng thể:

- + Nội dung đo: Máy cảm biến hình dạng đa chiều (MDS) được cài đặt để đánh giá hình dạng của tháp;
- + Vị trí lắp đặt: 1 vị trí bên trong tháp PY1;
- + Thiết bị đo: sử dụng loại phân tán dựa trên cảm biến trọng mục MEMS.

#### - Đo dao động:

- + Nội dung đo: Gia tốc kế 2 trục được cài đặt

để đánh giá các đặc tính dao động gây ra bởi hoạt tải và tải trọng gió

- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 2 vị trí, bao gồm:

1 tại đỉnh tháp PY1;

1 tại đỉnh tháp PY2;

- + Thiết bị đo: sử dụng loại cân bằng.

#### - Đo nhiệt độ không khí:

+ Nội dung đo: Nhiệt kế được cài đặt để đánh giá ứng xử do nhiệt của tháp

- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 6 vị trí, bao gồm:

2 vị trí trong tháp PY1;

4 vị trí tại tháp PY2.

- + Thiết bị đo: sử dụng nhiệt kế loại RTD.

#### - Đo lực cáp trụ neo:

+ Nội dung đo: đo lực cáp trụ neo

- + Vị trí lắp đặt: bố trí 2 vị trí tại cáp trụ neo

- + Thiết bị đo: sử dụng loại điện trở.

### 2.2.2 Cáp:

#### - Đo lực cáp:

+ Nội dung đo: gia tốc kế được cài đặt để tính toán lực cáp một cáp gián tiếp, và đánh giá các đặc tính động học của cáp;

- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 8 vị trí có chiều dài dây cáp dài nhất ;

- + Thiết bị đo: sử dụng loại lực cân bằng hoặc loại ICP;

Nếu cần thiết, các thiết bị đo lực cáp cầm tay sẽ được sử dụng.

### 2.2.3 Dầm thép và bản mặt cầu:

#### - Đo chuyển vị:

+ Nội dung đo: GPS được cài đặt để đo đạc chuyển vị của dầm thép

- + Vị trí lắp đặt: 1 trung điểm mặt cầu nhịp giữa

#### - Đo biến dạng:

+ Nội dung đo: Biến dạng kế sẽ được cài đặt để đo ứng suất của dầm thép và ứng suất của mặt cầu;

- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 6 vị trí, bao gồm:

2 tại cạnh bệ tháp của tháp PY1;

2 tại cạnh bệ tháp của tháp PY2;

2 tại điểm giữa trên dầm nhịp giữa.

- + Thiết bị đo: sử dụng loại kháng điện hoặc loại dây rung.

#### - Đo dao động của dầm thép:

- + Nội dung đo: gia tốc kế 1 trục được cài đặt để đánh giá các đặc tính dao động của dầm thép;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 2 vị trí trung điểm của dầm nhịp giữa;

#### 2.2.4 Điều kiện giao thông/ khí hậu:

##### - Camera thông minh:

- + Nội dung đo: camera thông minh được cài đặt để tự động ghi nhận lưu lượng giao thông và sử dụng công nghệ xử lý hình ảnh;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 4 vị trí, bao gồm: 2 tại dầm ngang đỉnh tháp PY1; 2 tại dầm ngang đỉnh tháp PY1.
- + Thiết bị đo: sử dụng máy quay hồng ngoại loại CDS, DSS.

##### - Camera mực nước:

- + Nội dung đo: máy quan sát mực nước phải được lắp đặt để đánh giá mực nước trong thời gian thi công thực bằng cách sử dụng công nghệ xử lý hình ảnh;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 1 vị trí cạnh tháp PY1 và PY2 tùy vào thời điểm thi công;
- + Thiết bị đo: sử dụng máy quay hồng ngoại loại CDS, DSS.
- + Thiết bị đo: sử dụng loại cân bằng lực.

##### - Đo nhiệt độ dầm thép:

- + Nội dung đo: nhiệt kế phải được cài đặt để đánh giá ảnh hưởng nhiệt lên dầm thép;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 1 vị trí trung điểm của dầm nhịp giữa;
- + Thiết bị đo: sử dụng loại RTD.

##### - Đo vận tốc dòng nước:

Cầu Cần giờ nằm trong khu vực có mực nước thủy triều lên xuống hàng ngày. Khi thủy triều lên xuống, vận tốc dòng chảy thường khá lớn. Hơn nữa, vào các tháng mùa mưa, lưu lượng nước mưa từ thượng nguồn chảy đổ ra biển cũng khá lớn. Cầu Cần Giờ lại có vị trí trụ tháp và các trụ của nhịp dẫn đặt tại ở lòng sông. Do đó, khả năng gây xói lở lòng sông dẫn đến ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của trụ tháp và trụ dẫn là khá lớn. Đặc biệt là xói lở trong quá trình thi công với lớp đất yếu dày ở đáy lòng sông. Do đó, việc phải lắp thêm các thiết bị đo vận tốc dòng chảy là cần thiết. Các thiết bị đo vận tốc dòng nước sẽ được lắp đặt ở dưới hệ cọc khoan

nhồi ở các trụ tháp PY1. Nên nhớ rằng, Trụ tháp PY1 là nơi có đáy sông sâu nhất. Cần tối thiểu là hai thiết bị đo vận tốc dòng nước. Một thiết bị đặt ở vị trí mực nước thấp nhất. Một thiết bị đặt ở vị trí khoảng giữa tính từ vị trí mực nước thấp nhất đến đáy sông.

#### 2.2.5 Điều kiện tải trọng môi trường

##### - Đo tốc độ và hướng gió:

- + Nội dung đo: phong kế sẽ được lắp đặt để đo tốc độ và hướng gió
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 2 vị trí bao gồm: 1 tại đỉnh tháp PY2; 1 tại mặt cầu trên bệ tháp PY2.
- + Thiết bị đo: sử dụng loại sóng siêu âm hoặc loại cánh quạt.

##### - Đo lượng mưa:

- + Nội dung đo: máy đo lượng mưa được cài đặt để đo lượng mưa;
- + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 1 vị trí trung điểm mặt cầu nhịp giữa;
- + Thiết bị đo: sử dụng loại thùng lật nghiêng/ chuyên mạch cộng từ.

##### - Đo địa chấn:

- + Nội dung đo: máy đo địa chấn sẽ được lắp đặt để đo gia tốc động đất;
  - + Vị trí lắp đặt: bố trí tại 1 vị trí chân tháp PY2;
  - + Thiết bị đo: sử dụng loại cân bằng lực (gia tốc kế 3 trục);
- Và một số các hạng mục quan trắc khác được thể hiện chi tiết trong bảng 3.1 và 3.2

#### 2.2.6 Sơ đồ cấu tạo hệ thống SHMS cầu Cần Giờ

Mỗi cảm biến phải được kết nối với máy ghi dữ liệu qua cáp và máy ghi dữ liệu được lắp đặt bên trong tháp. Trong suốt thời gian thi công, máy ghi dữ liệu được kết nối với thiết bị truyền thông không dây và dữ liệu đo đạc được truyền đến văn phòng công trường (xem hình 7). Trong giai đoạn khai thác, các máy ghi dữ liệu trong mỗi tháp được kết nối với nhau bằng cáp quang và máy chủ quan trắc cầu với phần mềm xử lý dữ liệu phù hợp được lắp đặt trong phòng cho công tác bảo trì. Sau khi kết nối mạng internet, hệ thống quan trắc cầu Cần Giờ được thiết lập để người dùng có thể tiếp cận hệ thống (xem hình 8).









### 2.2.7 Tần suất đo đạc và thời gian lắp đặt

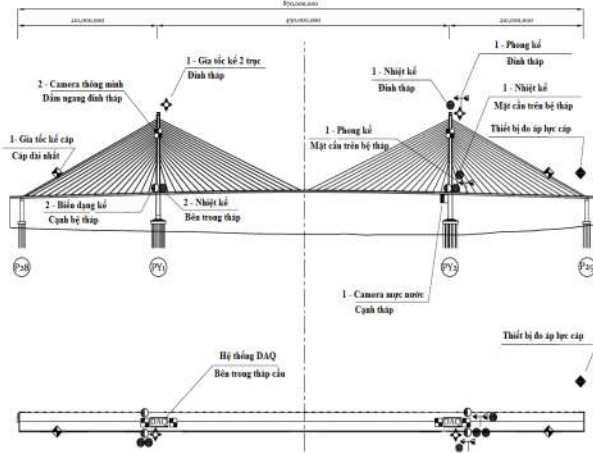
Đo đạc trong giai đoạn thi công có thể dựa trên các thiết bị tự động đã lắp đặt tạm thời. Các cảm biến và thiết bị đo đạc tự động sẽ được lắp đặt tại thời điểm phù hợp khi xem xét quá trình thi

công.

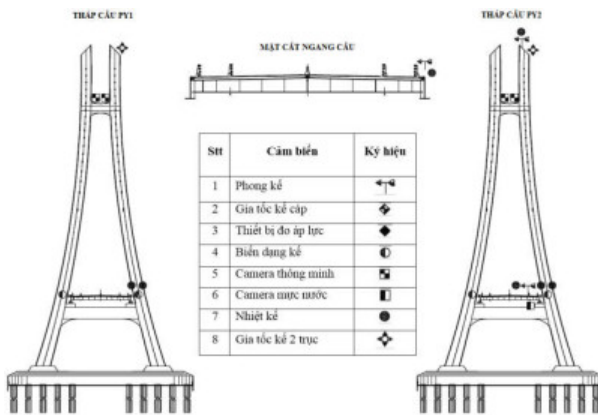
Tần suất đo đạc sẽ được quyết định khi xem xét các mục tiêu và loại đo đạc (tĩnh/động). (xem bảng 3).

**Bảng 1. Các hạng mục đo đạc trong giai đoạn thi công**

Stt	Cảm biến	Ký hiệu	Hạng mục đo	phương án chọn	
				Số lượng	Vị trí
1	Phong kế		Vận tốc /hướng gió	2	Đỉnh tháp PY2 Mặt cầu trên bộ tháp PY2
2	Gia tốc kế cáp		Lực cáp	2	Cáp dài nhất
3	Thiết bị đo lực cáp		Lực cáp	1	Thiết bị di động
4	Biến dạng kế		Ứng suất của tháp	4	2-cạnh bộ tháp của tháp PY1 2-cạnh bộ tháp của tháp PY2
5	Camera thông minh		Điều kiện của cầu	4	2-dầm ngang đỉnh tháp PY1 2-dầm ngang đỉnh tháp PY2
6	Camera mực nước		Mực nước	1	Cạnh tháp PY2
7	Nhiệt kế		Nhiệt độ không khí Nhiệt độ tháp	6	Đỉnh tháp PY2 Mặt cầu trên bộ tháp PY2 2-bên trong tháp PY1 2-bên trong tháp PY2
8	Gia tốc kế 2 trục		Dao động của tháp	2	Đỉnh tháp PY1 Đỉnh tháp PY2
9	Vận tốc dòng nước		Vận tốc dòng nước	2	Mực nước thấp nhất tại trụ tháp PY1 Độ sâu trung bình của mực nước dưới trụ tháp PY1
Tổng số lượng:				24	



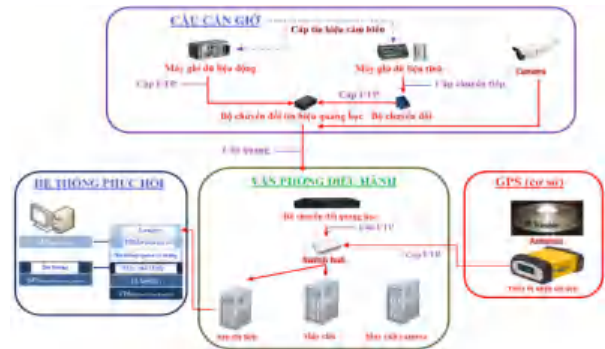
Hình 5: Bố trí cảm biến giai đoạn thi công



Hình 6: Bố trí cảm biến giai đoạn thi công (tiếp theo)



Hình 7: Cấu tạo hệ thống quan trắc cầu trong giai đoạn thi công

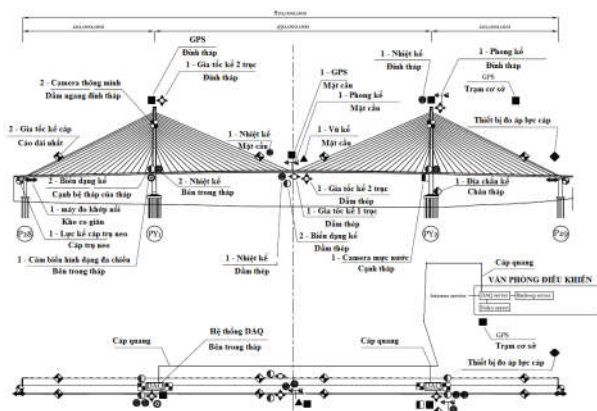


Hình 8: Cấu tạo hệ thống quan trắc cầu trong giai đoạn khai thác

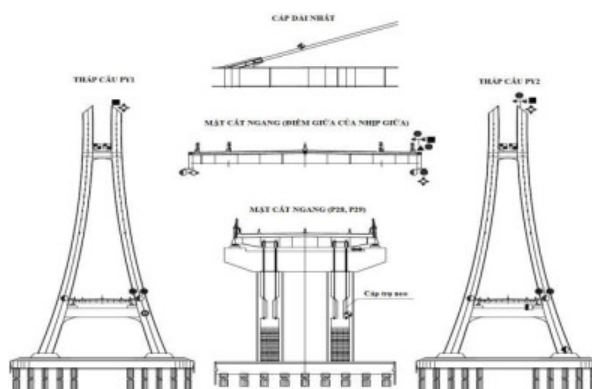
Bảng 2: Các hạng mục đo đạc trong giai đoạn khai thác

Stt	Cảm biến	Ký hiệu	Hạng mục đo	phương án chọn	
				Số lượng	Vị trí
1	GPS	■	Nhiều dạng chuyển vị	4	1-Đỉnh tháp PY1 1-Đỉnh tháp PY2 1-Trung điểm mặt cầu nhịp giữa 1-Vị trí cơ sở (mốc so sánh)
2	Phong kế	↔	Vận tốc/hướng gió	2	1-Đỉnh tháp PY2 1-Trung điểm mặt cầu nhịp giữa
3	Máy đo lượng mưa	▲	Lượng mưa	1	Trung điểm mặt cầu nhịp giữa
4	Gia tốc kế cáp	⬢	Lực cáp	8	Cáp dài nhất
5	Thiết bị đo lực cáp	◆	Lực cáp	1	Thiết bị di động
6	Biến dạng kế	○	Ứng suất của tháp Ứng suất của mặt cầu	6	2-cạnh bệ tháp của tháp PY1 2-cạnh bệ tháp của tháp PY2 2- điểm giữa trên dầm nhịp giữa

7	Máy quay thông minh		Điều kiện của cầu	4	2-dầm ngang đỉnh tháp PY1 2-dầm ngang đỉnh tháp PY2
8	Máy quay cos nước		Mức nước	1	Cạnh tháp PY2
9	Địa chấn kế		Tác động địa chấn	1	Chân tháp PY2
10	Máy đo khớp nối		Giãn nở do nhiệt	2	Khe co giãn (P28, P29)
11	Nhiệt kế		Nhiệt độ không khí, tháp cầu, trong mặt cầu	6	1-Đỉnh tháp PY2 1-Trung điểm mặt cầu nhịp giữa 2- Bên trong tháp PY1 1-Bên trong tháp PY2 1-Trung điểm của dầm nhịp giữa
12	Lực kế cáp trụ neo		Lực cáp trụ neo	2	Cáp trụ neo
13	Gia tốc kế 1 trục		Dao động của dầm thép	2	Trung điểm của dầm nhịp giữa
14	Gia tốc kế 2 trục		Dao động mặt cầu Dao động tháp	3	1-Trung điểm của dầm nhịp giữa 1-Đỉnh tháp PY1 1-Đỉnh tháp PY2
15	Cảm biến hình dạng đa chiều		Hình dạng tháp	1	Bên trong tháp PY1
16	Vận tốc dòng nước		Vận tốc dòng nước	2	Mức nước thấp nhất tại trụ tháp PY1 Độ sâu trung bình của mực nước dưới trụ tháp PY1
Tổng số lượng:				45	



Hình 9: Bố trí cảm biến giai đoạn khai thác



Hình 10: Bố trí cảm biến giai đoạn khai thác (tiếp theo)

**Bảng 3: Thời gian lắp đặt và tần suất đo đạc**

Stt	Cảm biến	Vị trí	Loại đo đạc	Thời gian lắp đặt	Tần suất đo đạc	
					Giai đoạn thi công	Giai đoạn khai thác
1	GPS	Tháp	Động	Sau khi thi công tháp	-	20Hz

		Mặt cầu Vị trí chuẩn		Sau khi thi công mặt cầu Sau khi hoàn tất thi công		
2	Phong kế	Tháp Mặt cầu	Tĩnh/Động	Sau khi thi công trụ tháp Sau khi thi công mặt cầu	10 phút	10Hz
3	Máy đo mưa	Mặt cầu	Tĩnh	Sau khi thi công mặt cầu	-	30 phút
4	Gia tốc kế cáp	Cáp dài nhất	Động/ tĩnh	Sau khi căng cáp mục tiêu	10 phút	10 phút
5	Thiết bị đo lực cáp	Thiết bị di động	Động	Trước khi căng cáp	-	-
6	Máy đo độ căng	Tháp Dầm thép	Tĩnh	Sau khi thi công tháp	10 phút	30 phút
7	Máy quay thông minh	Tháp	-	Sau khi thi công tháp	30 hình/giây	30 hình/giây
8	Máy quay mực nước	Tháp	-	Sau khi thi công tháp	30 hình/giây	30 hình/giây
9	Địa chấn kế	Tháp	Động	Sau khi hoàn tất thi công	-	100 Hz
10	Máy đo khớp nối	Khe co giãn	Tĩnh	Sau khi hoàn tất thi công	-	30 phút
11	Nhiệt kế	Tháp Mặt cầu Dây cáp tạm Dầm thép	Tĩnh	Sau khi thi công tháp Sau khi thi công mặt cầu Sau khi lắp dây văng tạm Sau khi hoàn tất thi công	10 phút	30 phút
12	Lực kế cáp trụ neo	Cáp trụ neo	Tĩnh	Sau khi hoàn tất thi công	-	30 phút



13	Gia tốc kế 1 trục	Dầm thép	Động	Sau khi hoàn tất thi công	-	100 Hz
14	Gia tốc kế 2 trục	Dầm thép	Động	Sau khi hoàn tất thi công	-	100 Hz
15	Cảm biến hình dạng đa chiều	Nền đất Tháp	Tĩnh	Sau khi thi công tháp	10 phút	30 phút

### 3. KẾT LUẬN

Nội dung bài viết áp dụng phương pháp luận và cơ sở lý thuyết của hệ thống quan trắc để thiết lập và xây dựng hệ thống quan trắc cho trường hợp cầu dây văng cụ thể là cầu Cần Giờ. Thông qua việc thiết lập hệ thống quan trắc cho cầu Cần Giờ cho ta thấy một số vấn đề sau đây cần được quan tâm:

- Phải có mục tiêu rõ ràng khi xây dựng hệ thống quan trắc;
- Các vị trí được lắp các cảm biến là các vị trí quan trọng và có sự thay đổi về nội lực, dao động, chuyển vị ảnh hưởng trực tiếp đến tính ổn định của công trình;
- Các thông số đo cần phải được xác định rõ cho

từng bộ phận kết cấu, phải dự đoán được phạm vi dao động của từng thông số để thuận lợi cho việc lựa chọn các cảm biến;

- Việc lựa chọn và bố trí các cảm biến phụ thuộc vào công nghệ, đa số các cảm biến hiện nay là mỗi loại đo một nội dung riêng và có phần mềm xử lý đánh giá độc lập. Tuy nhiên, để tăng mức độ chính xác và xem xét ảnh hưởng tổng thể của nội dung đo đến toàn bộ kết cấu thì cần phải xây dựng một chương trình xử lý thống nhất và cập nhật vào mô hình tính toán;

- Hệ thống quan trắc cầu Cần Giờ được xây dựng ở đây mới chỉ là nghiên cứu áp dụng lý thuyết, chưa được kiểm nghiệm ngoài thực tế, cần có các nghiên cứu tiếp theo để đánh giá hiệu quả của hệ thống quan trắc này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

#### Tiếng Việt

- [1] Ths. Bùi Thanh Bảo, Luận văn thạc sỹ kỹ thuật “Nghiên cứu hệ thống quan trắc lắp đặt cho kết cấu cầu dây văng và ứng dụng cho cầu Cần Giờ tại Tp. Hồ Chí Minh”, Trường Đại học giao thông vận tải thành phố Hồ Chí Minh, 2018.
- [2] Văn bản số 10811/SGTVT-KH ngày 16/08/2016 của Thủ tướng chính phủ đồng ý về chủ trương đầu tư xây dựng cầu Cần Giờ thay thế bến phà Bình Khánh hiện hữu.
- [1] GS.Ts Lê Đình Tâm, *cầu dây văng*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2000;
- [2] GS.Ts Nguyễn Việt Trung, *Chẩn đoán công trình cầu*, NXB Xây dựng, 2003;
- [3] GS.Ts Nguyễn Việt Trung, Ths Phạm Hữu Sơn, Ths Vũ Văn Toàn, *cơ sở thiết kế chống gió đối với cây Dây nhện lớn*, NXB Xây dựng, 2006;
- [4] Ngô Đăng Quang, *Mô hình hóa và phân tích kết cấu cầu với Midas/civil*, NXB Xây dựng, 2007;

- [5] GS.Ts Nguyễn Viết Trung, Ths Nguyễn Hữu Hưng, *Phân tích kết cấu cầu dây văng theo các giai đoạn bằng chương trình Midas 2006*, NXB Xây dựng, 2008;
- [6] GS.Ts Nguyễn Viết Trung, *bài giảng hiện trạng cầu đường bộ Việt Nam, 2008*;
- [7] Cầu Càn Thơ: *Bản vẽ, báo cáo kết quả hệ thống quan trắc*;
- [8] GS.Ts Nguyễn Viết Trung, Ths Đào Duy Lâm, Ts. Nguyễn Thị Tuyết Trinh, *Đánh giá ảnh hưởng sự cố cầu Bình*, Trường Đại Học Giao Thông Vận Tải, 2010;
- [9] GS.Ts Nguyễn Viết Trung, *Cơ sở quan trắc công trình cầu trong thi công và khai thác, 2011*;
- [10] Bộ Giao Thông Vận Tải, *Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05*, NXB GTVT, 2011;
- [11] Ts Hồ Thị Lan Hương, *Đánh giá tình hình ứng dụng hệ thống quan trắc cầu dây văng và dây võng ở Việt Nam*, NXB GTVT, 2012;
- [12] Ts. Lương Minh Chính, *Hệ thống quan trắc lâu dài công trình cầu lớn*, Trường Đại Học Thủy Lợi, 2013;

### **Tiếng Anh**

- [14] Helmut Wenzel, *Health Monitoring of bridge*, Nhà xuất bản Wiley, 2009;
- [15] M.S. Troitsky, *Cable stayed bridges – Theory and design* , Nhà xuất bản Crosby Lockwood Staples, 2000;
- [16] Assoc.Prof.PhD NAGY-GYORGY TAMAS, *Structural health monitoring system*, 2015;
- [17] *Vam cong bridge: Drawing and monthly report for bridge health monitoring system*;
- [18] Cao Lanh: *Drawing and monthly report for bridge health monitoring system*.