УДК 528.48

Е.С.БОГОМОЛОВА, *доцент, kig@pgups.edu*
М.Я.БРЫНЬ, *канд. техн. наук, заведующий кафедрой, kig@pgups.edu*
В.Н.ИВАНОВ, *старший преподаватель, kig@pgups.edu*
Д.В.КРАШЕНИЦИН, *старший преподаватель, kig@pgups.edu*
А.А.НИКИТЧИН, *канд. техн. наук, доцент, kig@pgups.edu*
О.П.СЕРГЕЕВ, *канд. техн. наук, доцент, kig@pgups.edu*
Е.Г.ТОЛСТОВ, *канд. техн. наук, доцент, kig@pgups.edu*
Петербургский государственный университет путей сообщения

E.S.BOGOMOLOVA, *assistant professor, kig@pgups.edu*
M.Ya.BRYN, *PhD in eng. sc., head of the chair, kig@pgups.edu*
V.N.IVANOV, *senior lecturer, kig@pgups.edu*
D.V.KRASHENITSIN, *senior lecturer, kig@pgups.edu*
A.A.NIKITCHIN, *PhD in eng. sc., assistant professor, kig@pgups.edu*
O.P.SERGEYEV, *PhD in eng. sc., associate professor, kig@pgups.edu*
E.G.TOLSTOV, *PhD in eng. sc., associate professor, kig@pgups.edu*
Petersburg State Transport University

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВАНТОВЫХ МОСТОВ ВО ВЛАДИВОСТОКЕ

Рассмотрены основные виды геодезических работ, выполненные при строительстве вантовых мостов во Владивостоке. Среди них: создание геодезической разбивочной основы, геодезические работы при строительстве пилонов и установке анкерных устройств крепления вант в пилоне и на пролете, геодезическое обеспечение монтажа блоков металлического сердечника, геодезический мониторинг конструкций вантового моста в процессе его строительства.

Ключевые слова: геодезическая сеть, исполнительная съемка, мониторинг.

GEODESIC SUPPORT OF CONSTRUCTION OF CABLE-STAYED BRIDGES IN THE CITY VLADIVOSTOK

The main types of surveying, made during the construction of cable-stayed bridges in the city of Vladivostok. Among them: the geodetic staked basis, survey work in the construction of piers and installation of anchors to mount guys pole and span, geodetic support for installation, metal core, geodetic monitoring of cable-stayed bridge in the construction process of its construction.

Key words: geodetic network, executive survey, monitoring.

В последние годы для преодоления больших водных преград все чаще строят вантовые мосты, поскольку они позволяют наилучшим образом осуществлять бесперебойное движение судов.

Во Владивостоке в рамках федеральной подпрограммы «Развитие Владивостока как центра международного сотрудничества в АТР» к саммиту АТЭС-2012 построены два вантовых моста:

– через бухту Золотой Рог длиной 1388 м, с основным пролетом 737 м, высотой над зеркалом воды 64 м, высотой пилонов 226 м (рис.1);

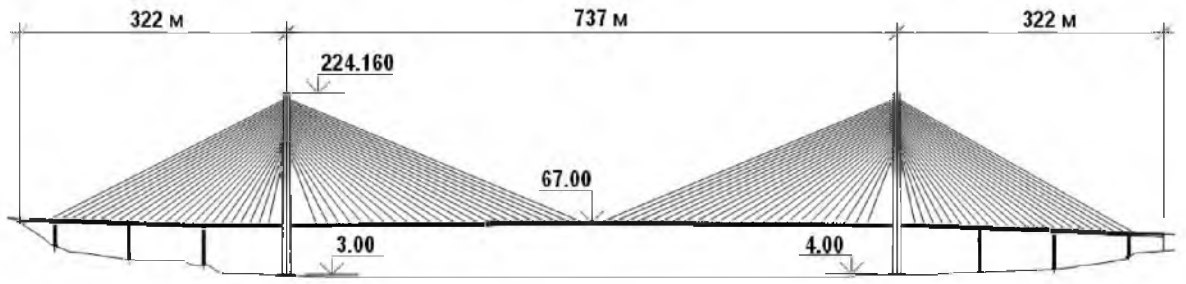


Рис.1. Схема моста через бухту Золотой Рог

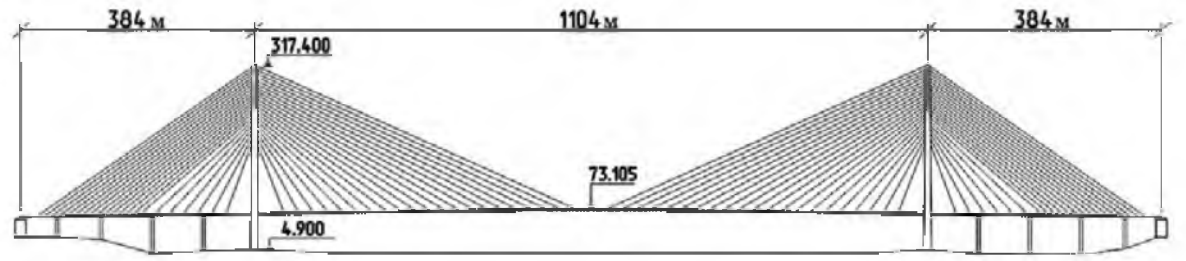


Рис.2. Схема моста через пролив Босфор Восточный

– через пролив Босфор Восточный длиной 1872 м, с основным пролетом 1104 м, высотой над зеркалом воды 77 м, высотой пилонов 312 м (рис.2).

Особенности строительства этих мостов, оказывающие влияние на геодезическое обеспечение, заключались в следующем:

– длина мостов не позволяет обеспечивать прямую оптическую видимость на такие удаления и на такие высоты из-за неблагоприятных метеорологических условий, существующих в регионе;

– сжатые сроки строительства потребовали выполнения работ круглосуточно и в любых метеоусловиях, в том числе и неблагоприятных для выполнения геодезических измерений.

Сотрудниками кафедры «Инженерная геодезия» ПГУПС были разработаны регламенты и проекты производства геодезических работ для строительства вантовых мостов, реализованные в ходе строительства. Преподаватели и инженеры кафедры непосредственно участвовали в геодезических работах на строительстве моста через бухту Золотой Рог.

Рассмотрим наиболее значимые этапы геодезических работ.

Создание геодезической разбивочной основы (ГРО). Плановая сеть была создана на основе сочетания спутниковых и наземных измерений, а передача высот через водную поверхность осуществлялась спутниковым методом. Впервые для сетей ГРО рассмотрено влияние уклонений отвесных линий на точность передачи высот.

Геодезическое обеспечение строительства пилонов. Ввиду неблагоприятных погодных условий строительства (низкая облачность, препятствующая измерениям электронными тахеометрами) на высотах выше 100 м передача координат на верх пилона осуществлялась с помощью спутниковой аппаратуры. Для этого использовалась одна базовая станция, а три приемника устанавливались на пилоне. В дальнейшем эти точки служили исходными для выполнения обратной засечки электронным тахеометром, с помощью которого определялись координаты углов блока пилона и контрольных точек опорной поверхности вантового узла.

Геодезические работы при установке анкерных устройств крепления вант в пилоне и на пролете. Ориентирование анкерных устройств (труб) в теле пилона и на пролете необходимо было выполнять с вы-

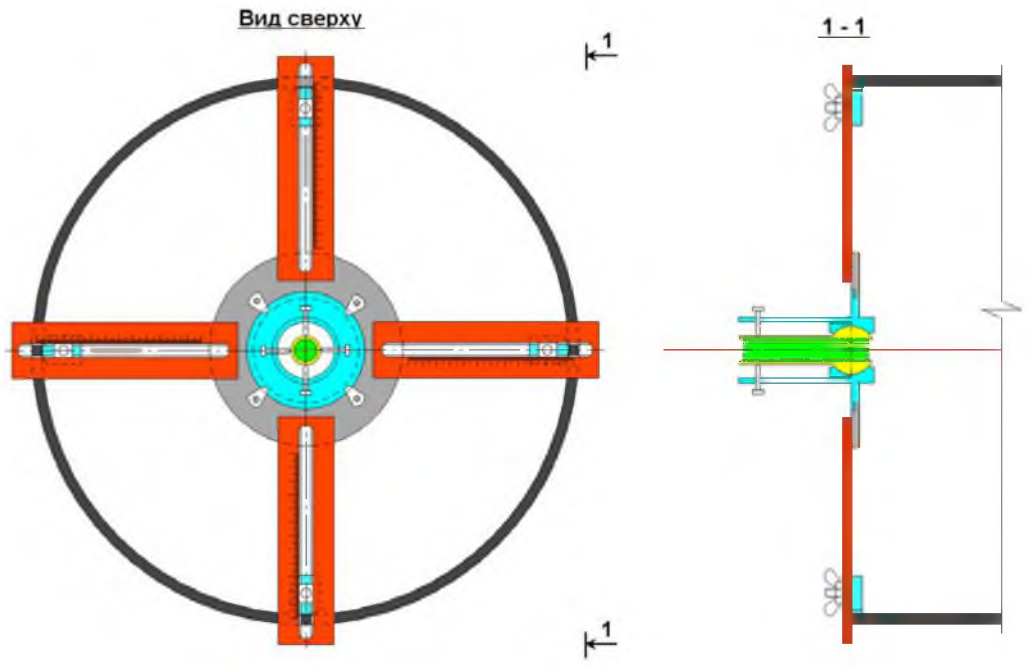


Рис.3. Схема лазерного приспособления

сокой точностью (5 мрад или 10 мм на длину трубы 4-7 м). Кафедрой разработаны методы контроля при установке и исполнительной съемке анкерных узлов в пилоне и на пролете с использованием электронных тахеометров и спутниковой аппаратуры.

Для установки анкерных труб с углами наклона более 45° разработано приспособление с двухсторонним лазерным излучателем, которое центрировалось на опорной поверхности вантового устройства (рис.3). Установка и контроль ориентирования анкерного устройства выполнялся тахеометром по двум точкам лазерного луча.

Геодезическое обеспечение монтажа блоков металлического сердечника. При укрупнительной сборке металлического сердечника на заводе выполнялась исполнительная съемка контрольных точек сердечника. В качестве контрольных точек выбирались точки, которые обеспечивают надежный контроль геометрических размеров блока сердечника и его анкерных устройств крепления вант. Минимальное количество таких точек – это четыре контрольные точки по углам верхней грани металлического сердечника, четыре точки по углам опорной поверхности каждого анкера и две точки по оси трубы анкера. Исполнительная съемка блока сердечника выполнялась в условной системе координат завода с применением высокоточного тахеометра или координатно-измерительного комплекса.

Контроль установки и крепления блока сердечника в стойке пилона выполнялся в системе координат моста по трем верхним контрольным точкам блока сердечника, которые были доступны для измерений тахеометром или приемником спутниковой аппаратуры. Имея координаты этих точек в системе координат моста и в условной системе координат завода, можно перевычислить координаты всех других точек сердечника, недоступных для непосредственного наблюдения при монтаже на пилоне, из системы координат завода в систему координат моста.

Пересчет координат из системы завода $x_з y_з H_з$ в систему координат моста $x_м y_м H_м$ выполнялся по формуле

$$X_м = GX_з + X_0 .$$

Здесь

$$X_м = \begin{bmatrix} x'_1 & x'_2 & \cdots & x'_n \\ y'_1 & y'_2 & \cdots & y'_n \\ H'_1 & H'_2 & \cdots & H'_n \end{bmatrix},$$

$$X_з = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_n \\ H_1 & H_2 & \cdots & H_n \end{bmatrix}$$

– матрицы координат n точек в системах координат $x_м y_м H_м$ и $x_з y_з H_з$ соответственно;

$$X_0 = \begin{bmatrix} x_0 & x_0 & \cdots & x_0 \\ y_0 & y_0 & \cdots & y_0 \\ H_0 & H_0 & \cdots & H_0 \end{bmatrix}$$

– матрица $(3 \times n)$ координат начала систем $x_з y_з H_з$ в системе $x_м y_м H_м$; G – матрица (3×3) перехода от системы координат завода к системе координат моста, $G = (X_{ом} - X_0) X_{ос}^{-1}$;

$$X_{ом} = \begin{bmatrix} x'_{о1} & x'_{о2} & x'_{о3} \\ y'_{о1} & y'_{о2} & y'_{о3} \\ z'_{о1} & z'_{о2} & z'_{о3} \end{bmatrix}$$

– матрица координат трех точек в системе $x_м y_м H_м$, определенных как на заводе, так и на пилоне; $X_{ос}^{-1}$ – обратная матрица от $X_{ос}$,

$$X_{ос} = \begin{bmatrix} x_{о1} & x_{о2} & x_{о3} \\ y_{о1} & y_{о2} & y_{о3} \\ z_{о1} & z_{о2} & z_{о3} \end{bmatrix}$$

– матрица координат тех же n точек в системе $x_с y_с H_с$.

Точки, координаты которых определены в двух системах координат, не должны располагаться на одной прямой линии.

Геодезический мониторинг конструкций вантового моста в процессе его строительства. Для решения этой задачи была предложена система автоматизированного непрерывного геодезического мониторинга динамического поведения сооружения в процессе строительства и эксплуатации. В качестве средств геодезического мониторинга были использованы роботизированные электронные тахеометры, инклинометры и спутниковая геодезическая аппаратура. Кафедрой разработаны предложения по организации центра управления, базовых станций, мобильных спутниковых приемников. Разработаны критерии установки этих элементов системы, их назначение, состав, функции.

В заключение отметим, что геодезическое обеспечение строительства вантовых мостов во Владивостоке было основано на использовании современных средств измерений и выполнено с требуемой точностью и в установленные сроки.