

УДК 696.117

Шишигин И. В., Медведева Г. Г.
IgorShishigin76@yandex.ru; galina.medvedeva26@inbox.ru
ТОГУ, г. Хабаровск, Россия

КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Абстракт. Исследование посвящено проблеме контроля пространственного положения несущих конструкций мостового крана в процессе выполнения технического диагностирования данного подъёмного сооружения. В целях повышения точности геометрических измерений разработана методика выполнения данного вида неразрушающего контроля электронным тахеометром, с применением функций безотражательной съёмки. Приведены результаты апробации данной методики на десяти исследуемых сооружениях в процессе экспертизы промышленной безопасности.

Ключевые слова: мостовой кран, техническое диагностирование, деформации и прогибы балок мостового крана, электронный тахеометр, неразрушающий контроль.

1. Значение безопасности подъёмных сооружений для устойчивого функционирования промышленного объекта. Подъёмные сооружения являются обязательным элементом технологического оборудования любого промышленного объекта. В данном исследовании анализировалось техническое состояние мостовых кранов ТЭЦ Хабаровского края. Для главных корпусов энергоблоков ТЭЦ мостовые краны являются грузоподъёмными механизмами, несущими основную нагрузку. Будучи незаменимым инструментом при выполнении монтажных, демонтажных работ и замене оборудования, мостовой кран определяется как механизм, прямо влияющий на возможность проведения плановых и оперативных ремонтов. В случае расположения грузоподъёмных механизмов на объектах теплоэнергетики возникает ситуация, когда опасные производственные факторы одного опасного производственного объекта оказывают взаимное влияние на другой. Рассматривая потенциальные опасности отказов и аварий мостовых кранов, с учётом специфики работы крана в главном корпусе и большого количества технологических трубопроводов, можно предположить, что наиболее серьёзными в плане последствий являются аварии, вызванные разрывами паропроводов и приводящие к паровому взрыву, обладающему большими разрушительными последствиями.

2. Тригонометрическое нивелирование главных балок мостового крана. В процессе освидетельствования мостовых кранов достаточно затруднительным является определение фактического плано-высотного положения несущих конструкций – главных балок крана. В данном исследовании приведено обоснование применения электронных тахеометров при выполнении замеров данных характеристик. Обоснованы методы определения вертикальных (прогибы) и горизонтальных (скручивание) деформаций главных балок мостового крана при использовании электронного тахеометра TS02 [2, с.141; 3, с. 44].

Общий вид тахеометра приведен на рисунке 1, характеристики приведены в таблице 1.



Рисунок 1 – Общий вид электронного тахеометра TS02

Таблица 1 – Характеристики тахеометра TS02

Описание характеристики	Качественное отображение
Точность измерения углов	5 с
Дальность измерения расстояний: - без отражателя - на одну призму	500 м 3500 м
Точность измерения расстояний: - без отражателя - на призму - на отражающую пленку	3 мм + 2 ppm 1,5 мм + 2 ppm 2 мм + 2 ppm
Увеличение зрительной трубы	30 крат

При выполнении тригонометрического нивелирования визирование сетки нитей прибора осуществляется на пластину – отражатель или характерные точки конструкций крана (при отсутствии доступа). Превышение между точками съёмки на станции определяются как разность условных отметок точек (для повышения точности измерений исключены замеры высоты прибора и отражателя). Высота отражателя над точками съёмки постоянная. Наблюдения на станции выполняются полным приёмом (при круге правом и при круге левом), по два наведения при каждом круге, со сменой горизонта прибора.

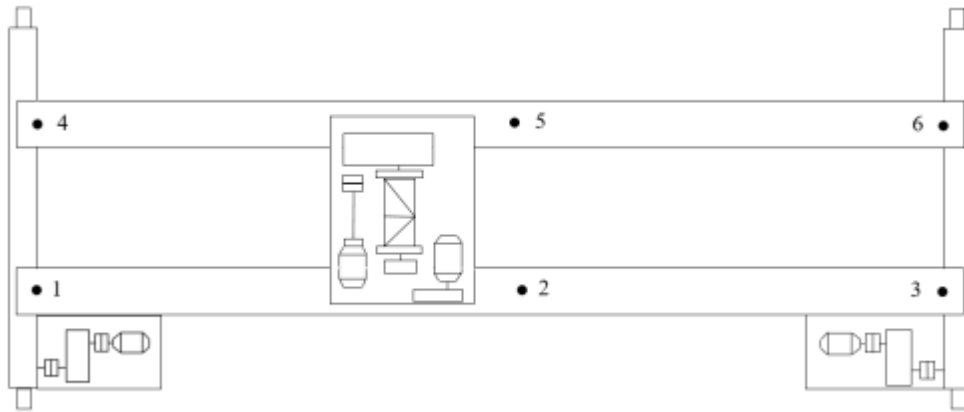


Рисунок 2 – Места расположения точек нивелирования

В качестве исходного высотного обоснования (опорные марки) служат закладные болты креплений несущих металлоконструкций внутри главного корпуса (не менее трёх опорных точек). Исходные марки маркируются краской и подписываются. Отметки исходных марок задаются условно. Расположение точек нивелирования главных балок мостового крана приведены на рисунке 2.

Для оценки точности измерений электронными тахеометрами воспользуемся формулой тригонометрического нивелирования:

$$h = S \cdot \cos Z + i - v + \frac{(1 - k) \cdot S^2}{2R \cdot \sin^2 Z}$$

где S - измеренное тахеометром наклонное расстояние;

Z - измеренное тахеометром зенитное расстояние;

i - высота прибора над исходным пунктом;

v - высота отражателя над определяемым пунктом;

k - коэффициент вертикальной рефракции; R - радиус кривизны Земли.

Если считать, что при измерениях центр сетки нитей зрительной трубы тахеометра тщательно наводится на центр отражателя (фиксированной точки), с точностью до 1 мм на высоту v , равную высоте прибора i , и при малых расстояниях S влиянием вертикальной рефракции можно пренебречь, средняя квадратическая погрешность (СКП) определения превышения оценивается по формуле:

$$m_h^2 = \cos^2 Z \cdot m_S^2 + \left(\frac{S}{\rho}\right)^2 \cdot \sin^2 Z + m_Z^2 + m_{iv}^2$$

где m_S и m_Z - СКП измерения тахеометром значений S и Z соответственно.

Исходные данные для оценки точности определения отметки при условии $m_{iv} = 1$ мм и тщательном визировании на призму отражателя представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для оценки точности нивелирования

Условное обозначение параметра	Значение
Z	70^0
i	1,5 м
v	1,5 м
S	60 м
m_S	3 мм
m_Z	5 с

Подставив известные значения в формулу определения СКП превышений, получим:

$$m_h^2 = 7,2 \text{ мм}, \quad m_h = \sqrt{7,2} = 2,7 \text{ мм}.$$

Данное значение погрешности измерения превышений тригонометрическим нивелированием, выполненного электронным тахеометром, находится в пределах требований СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве», предполагающих точность измерений не ниже 0,2 L (где L – допустимое отклонение геометрических параметров).

3. Определение скручивания главных балок мостового крана. Горизонтальные деформации (скручивание) главных балок мостового крана определяются электронным тахеометром TS02 путем сравнения горизонтальных проложений от прибора до стенки балки. Измерения выполняются дальномером тахеометра в безотражательном режиме. Схема геодезической съёмки по определению величины скручивания главных балок приведена на рисунке 3.

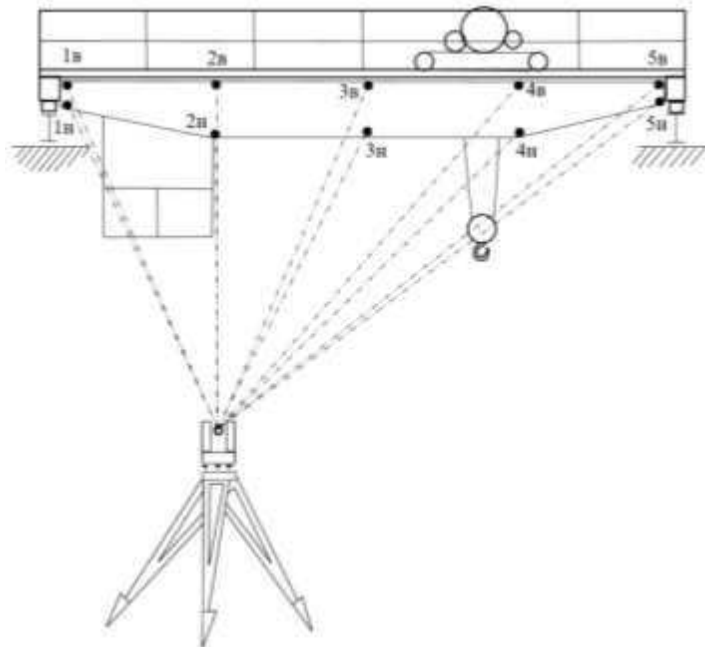


Рисунок 3 – Схема определения скручивания балки крана

Точки съёмки образующей выбираются в местах верха и низа стенки балки. Точки съёмки нумеруются от ходовой балки 1 (место расположения кабины управления) с равными интервалами, предполагающими наличие не менее пяти направлений съёмки.

Величина скручивания главной балки определяется по формуле:

$$L_{\Delta} = L_j - L_j^0,$$

L_j – горизонтальное проложение от точки низа балки;

L_j^0 – горизонтальное проложение от точки верха балки.

Расчёт точности горизонтальных проложений, измеренных тахеометром.

Горизонтальное проложение представляет собой проекцию наклонного расстояния на горизонтальную плоскость. Схема отображения горизонтального проложения приведена на рисунке 4.

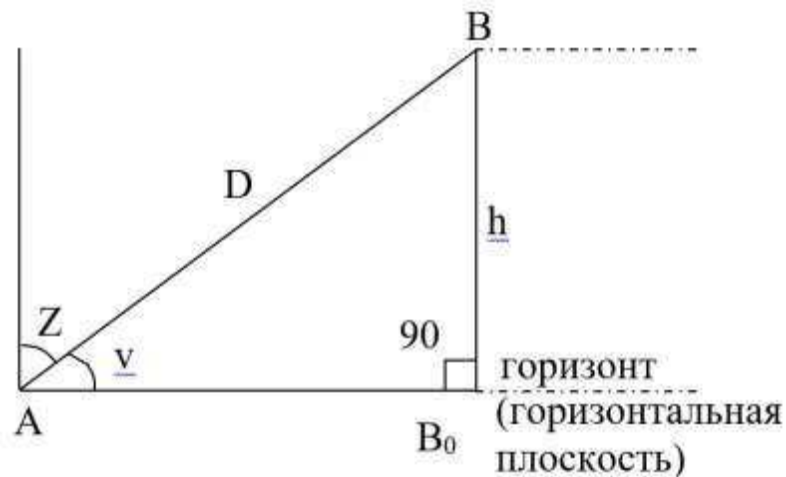


Рисунок 4 – Схема отображения горизонтального положения

На данном рисунке:

D – измеренное значение наклонной линии AB ;

v – угол наклона линии AB ;

Z – зенитное расстояние линии AB ;

h – превышение между конечными точками линии AB ;

$S = AB_0$ – горизонтальное проложение (проекция) линии AB .

Значение горизонтального проложения определяется по формуле:

$$S = D \cdot \cos v = D \cdot \sin Z = \sqrt{D^2 - h^2}$$

Практически, вычисление горизонтального проложения можно представить в следующем виде:

$$S = D - \Delta D,$$

где ΔD – поправка за приведение наклонной линии к горизонту.

$$\Delta D_v = 2D \cdot \sin^2 \frac{v}{2}$$

Точность измерения вертикального угла определяем по формуле:

$$m_{\Delta D_v} = 2D \cdot \sin v \frac{m_v}{\rho}$$

Для характеристики точности вычисленного горизонтального проложения значение среднего квадратического отклонения (СКО) определяется по формуле:

$$m_s^2 = m_D^2 + m_{\Delta D_v}^2$$

Исходные данные для оценки точности определения горизонтального проложения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для оценки точности нивелирования

Условное обозначение параметра	Значение
D	60 м
v	45^0
Z	55^0
S	60 м
h	20 м
m_v	5 с
m_D	3 мм
ρ	206265

Применив к исходной формуле характеристики СКО, обозначенные в таблице 3, выполним расчёт погрешности:

$$m_{\Delta D_v} = 2 \cdot 60000 \cdot \sin v \cdot \frac{5}{206265} = 2,5 \text{ мм}$$

$$m_s^2 = 3 + 2,5 = 5,5 \text{ мм}$$

$$m_s = \sqrt{5,5} = 2,3 \text{ мм}$$

Данное значение погрешности измерения горизонтального проложения, выполненного электронным тахеометром, находится в пределах требований СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» [1], предполагающих точность измерений не ниже 0,2 L (где L – допустимое отклонение геометрических параметров).

4. Апробация результатов исследования. Для апробации описанных выше методов измерений были проведены геодезические измерения конструкций мостовых кранов главных корпусов ТЭЦ на территории Хабаровского края. В таблице 4 приведены сводные результаты геодезической съёмки десяти мостовых кранов, выполненной в процессе экспертизы промышленной безопасности.

По результатам выборки геодезических съёмок несущих конструкций выявлено, что из десяти кранов у одного присутствует деформация главных балок (скручивание), превышающая нормативные значения; у одного крана данные значения близки к критическому параметру.

Таблица 4 – Сводная таблица по результатам съёмок кранов

№ п/п	Величина прогиба, мм		Допуск, мм	Величина скручивания, мм		Допуск, мм
	Балка 1	Балка 2		Балка 1	Балка 2	
1	3	16	34	16	13	31
2	14	13	34	15	14	31
3	1	1	33	38	37	30
4	6	17	50	8	17	45
5	17	9	53	12	13	48
6	1	1	74	19	20	67
7	22	6	74	25	20	67
8	3	16	34	16	13	31
9	3	11	61	31	17	56
10	10	1	63	54	25	57

Заключение. Разработанный способ определения пространственного положения несущих конструкций мостовых кранов (главных балок) позволяет значительно сократить время проведения как диагностики крана, экспертизы промышленной безопасности, так и время его технического обслуживания. Точное и оперативное определение количественных составляющих прогиба и скручивания главных балок значительно сокращает риск усталостного разрушения данных металлоконструкций и, соответственно, риск аварий подъемных сооружений, имеющих тяжелые последствия для промышленных объектов.

Библиографические ссылки на источники

1. Геодезические работы в строительстве СП 126.13330.2017. – М.: Минрегион России, 2018 – 84 с.
2. Жуков Б.Н. Прикладная геодезия. Геодезический контроль сооружений и оборудования в процессе строительства и эксплуатации: лабораторный практикум / Б. Н. Жуков, В. А. Скрипников, И. О. Сучков. – Новосибирск : СГГА, 2013 – 162 с..
3. Шеховцев Г.А. Современные геодезические методы определения деформации инженерных сооружений / Г.А. Шеховцев. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.

Shishigin I. V., Medvedeva G. G.

IgorShishigin76@yandex.ru; galina.medvedeva26@inbox.ru
PNU, Khabarovsk, Russia

SPATIAL POSITION CONTROL OF BRIDGE CRANES BEARING STRUCTURES

Abstract. The study is devoted to the problem of controlling the spatial position of the supporting structures of an overhead crane during the technical diagnosis of this lifting structure. In order to increase the accuracy of geometric measurements, a technique has been developed to perform this type of non-destructive testing with an electronic tachymeter, using the reflectionless shooting functions. The results of testing this technique at ten facilities under study in the process of industrial safety examination are presented.

Keyword: bridge crane, technical diagnostics, deformations and deflections of a bridge crane beams, electronic tachymeter, non-destructive testing.