ВЫЯВЛЕНИЕ КРЕНА СООРУЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

© И. Г. Гайрабеков, И. Ю. Пимшин, А. Т. Мишиева, К. С. Шамсудинова

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

Донской государственный технический университет, г. Ростов на Дону, Россия

В статье изложены методика и результаты геодезических работ, выполненных с использованием современных электронных средств измерений для выявления сверхнормативных кренов 30 и 32-метровых металлических дымовых труб. Определялись величины кренов по отдельным осям и абсолютная величина крена. Камеральная обработка результатов геодезических измерений была выполнена в программе *Credo_Dat*. Анализ и оформление геометрических параметров объектов выполнены в программном продукте *ZWCAD*. С точек планового обоснования была выполнена съемка характерных строительных элементов трубы. Контроль геометрических параметров сооружения выполнен координатным методом. Установлено, что полный крен 30-метрового металлического сооружения после исправления не превышает предельно допустимую величину. Сделан вывод о пригодности сооружения к дальнейшей эксплуатации.

Установлено, что полный крен 32-метрового металлического сооружения превышает предельно допустимую величину. Сделан вывод о необходимости проведения повторных геодезических измерений с целью выявления динамики развития кренов. Результаты измерений могут быть использованы для выполнения мероприятий по восстановлению эксплуатационной надежности наблюдаемого объекта.

Ключевые слова: станция стояния прибора, средства измерений, камеральная обработка, система координат, крен трубы.

В результате негативного влияния природных и техногенных факторов происходит изменение пространственного положения и формы зданий и сооружений – деформации зданий и сооружений. Деформации подразделяются на следующие основные виды: осадки, прогиб, выгиб, крен, кручение, скручивание, горизонтальные и вертикальные перемещения. Деформации башенных сооружений, к которым относятся и дымовые трубы, характеризуются, прежде всего, величинами частных, относительных и абсолютных кренов. Рассмотрим методику и результаты выполненных нами исследований по определению геометрии инженерных сооружений – дымовых труб высотой 30 и 32 метров.

Геодезические работы по выявлению сверхнормативного крена 30-метровой металлической дымовой трубы, принадлежащей САЛЬСКСЕЛЬМАШ и расположенной по

адресу: Ростовская область, Сальский район, пос. Гигант, ул. Заводская, 6, выполнялись с использованием современных электронных средств измерений в соответствии с нормативными требованиями [1-11]:

- электронный тахеометр *GTS-102N* зав. № 6G0051;
- лазерный дальномер *MettroCondrol 100* зав. № 00499;
- штангенциркуль *ШЦК* (0-300) мм № GK1127536;
- металлическая измерительная линейка 1000 мм № 21051.

Данные инструменты имели свидетельства о поверке или сертификаты о калибровке.

Камеральная обработка результатов геодезических измерений была выполнена в программе *Credo_Dat*. Анализ и оформление геометрических параметров объектов выполнен в программном продукте *ZWCAD*.

Рис. 1. Схема контроля электронным тахеометром геометрических параметров металлической дымовой трубы

Контроль геометрических параметров трубы выполнен координатным методом:

1. Осуществили выбор пространственной системы координат, в которой определяются геометрические характеристики исследуемого объекта.

2. Определили положение дискретно распределенных точек, имеющих наибольшую информативность для описания геометрических параметров объекта.

3. Координировали положение выбранных точек.

4. Анализировали полученную совокупность координат точек и определили геометрические характеристики исследуемого объекта.

С точек планового обоснования была выполнена съемка характерных строительных элементов трубы.

Координирование положения исследуемых точек выполняли по следующей методике. Прибор на штативе устанавливался от контролируемого объекта на расстоянии примерно равном его высоте. Система координат электронного тахеометра ориентировалась параллельно контролируемой плоскости трубы. Затем, в данной системе координат прибором производилось координирование исследуемых точек, расположенных в характерных местах объекта. Результаты измерений автоматически записывались электронным тахеометром в выбранный файл регистратора-накопителя прибора. Данный файл после выполнения всего комплекса измерений транслировался в ЭВМ. После чего он импортировался в программу *Credo_Dat*, предназначенную для камеральной обработки полевых инженерно-геодезических

Рис. 2. Расположение контролируемых сечений на дымовой трубе

измерений. В данной программе производился пересчет полярной системы координат электронного тахеометра в прямоугольную декартовую систему координат. Затем выполнялся экспорт полученных трехмерных координат точек в формат *.dxf. Далее полученный файл открывался в ZWCAD-е, где и производилась непосредственная рисовка и анализ основных геометрических характеристик здания.

Использовались рабочие формулы пересчета полярной системы координат в

прямоугольную декартовую систему координат:

$$\begin{aligned} x_i &= s_i \cdot \cos \nu_i \cdot \cos \alpha_i; \\ y_i &= s_i \cdot \cos \nu_i \cdot \sin \alpha_i. \end{aligned} \quad (1)$$

где x_p, y_p – координаты определяемой точки.

Зная координаты верха и низа строительных конструкций, вычислили частные крены q_i по следующим формулам:

$$q_{xi} = x_{Bi} - x_{Hi}; q_{yi} = y_{Bi} - y_{Hi} \quad (2)$$

где x_{Bi}, y_{Bi} – координаты верха контролируемого объекта;

x_{Hi}, y_{Hi} – координаты низа объекта.

Абсолютный (полный) крен Q_i вычисляется по формуле:

$$Q_i = \sqrt{(q_{xi}^2 + q_{yi}^2)}. \quad (3)$$

где q_{xi} и q_{yi} – частные крены соответственно по осям X и Y .

Относительный крен i вычисляется по формуле:

$$i = Q_i / H_i, \quad (4)$$

где H_i – высота сооружения.

На рис. 1 представлена схема определения электронным тахеометром геометрических параметров металлической дымовой трубы.

Результаты первоначального измерения крена трубы

В соответствии с разделом 5, ГОСТ 24846-2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений», предельные погрешности измерения крена в зависимости от высоты H наблюдаемого объекта не должны превышать величину $0,0001 \cdot H$. В нашем случае предельная погрешность измерения крена равна 3 мм. Данная точность измерений обеспечивалась использованием электронного тахеометра.

На рис. 2 приведен общий вид трубы (фото) и указаны сечения, исследуемые при контроле её вертикальности.

На рис. 3 представлена схема расположения станций стояния прибора относительно исследуемого объекта и полный крен дымовой трубы.

Рис. 3. Схема расположения станций стояния прибора относительно исследуемого объекта и первоначальный полный крен дымовой трубы

Рис. 4. Исполнительная съемка вертикальности дымовой трубы

Таблица 1 – Исполнительная съемка вертикальности центра ствола трубы

№ пояса	Условная отметка H в м	Смещение трубы от вертикали (крен)			Относитель- ный крен i в мм/м
		Частный крен по оси X q_x в мм	Частный крен по оси Y q_y в мм	Абсолютный (полный крен) Q в мм	
4	30,0	362	63	367	12,25
3	23,5	244	27	245	10,45
2	13,5	105	13	106	7,84
1	0,0	0	0	0	0,00

Рис. 5. Схема исправленного полного крена дымовой трубы

Численные величины и их направления полученных частных, полных и относительных кренов трубы приведены в табл. 1 и на рис. 4.

В СП 22.13330.2011 сказано, что допустимой является величина, не превышающая значения $0,005 \cdot H$ (где H – высота исследуемого сооружения). Для конкретного объекта исследований (при $H = 30$ м) предельно допустимой является величина 150 мм. Следовательно, полученный полный фактический крен трубы (367 мм) в 2,5 раза больше предельно допустимого.

Поскольку полный крен трубы в 2,5 раза превышал допуск, было принято решение об исправлении этого сверхнормативного крена.

Вертикальность объекта изменялась путем последовательного натяжения южной и северо-западной растяжек.

Численные величины и их направления полученных частных, полных и относительных кренов трубы после исправления её сверхнормативного крена приведены в табл. 2 и на рис. 5, 6.

Нами также были проведены работы по определению крена 32-метровой дымовой трубы. Дымовая труба состояла из 3-х частей (металлических труб $\varnothing 635$ мм). На рис. 7 приведена общая схема расположения объекта. Работы выполнялись в соответствии с нормативными требованиями [1-8].

Таблица 2 – Исполнительная съемка вертикальности центра ствола трубы

№ пояса	Условная отметка H в м	Смещение трубы от вертикали (крен)			Относительный крен i в мм/м
		Частный крен по оси X q_x в мм	Частный крен по оси Y q_y в мм	Абсолютный (полный крен) Q в мм	
4	30,0	141	–2	141	4,70
3	23,5	66	–23	70	2,98
2	13,5	36	–1	36	2,67
1	0,0	0	0	0	0,00

Рис. 6. Исполнительная съемка исправленной вертикальности дымовой трубы

Для выполнения измерений использовались:

- высокоточный электронный тахеометр *Trimble 3602 DR* № 503539А;
- рулетка РК-2-30 № 04.

Данные инструменты имеют свидетельства о поверке.

Для контроля геометрических параметров был реализован координатный метод, включающий следующие этапы: выбор пространственной системы координат, в рамках которой определяются геометрические параметры исследуемого сооружения; определение пространственного положения (координирование) отдельных точек, наиболее точно характери-

зующих геометрические параметры объекта; анализ параметров координат всей совокупности выбранных точек и определение геометрии исследуемого сооружения.

Съемка характерных строительных элементов трубы выполнялась с точек планового обоснования.

Для координирования положения исследуемых точек использовалась следующая методика. Тахеометр устанавливался от контролируемого сооружения на расстоянии, примерно равном высоте этого сооружения. Система координат прибора ориентировалась параллельно контролируемой плоскости трубы. Далее в рассматриваемой системе координат тахеоме-

Рис. 7. Общая схема расположения объекта

Рис. 8. Полный крен 30-метровой трубы

Таблица 3 – Исполнительная съемка вертикальности центра ствола антенны

№ пояса	Условная отметка Н в м	Смещение трубы от вертикали (крен) в мм			Относительный крен i в мм
		Частный крен по оси Xq_x в мм	Частный крен по оси Yq_y в мм	Абсолютный (полный крен) Q в мм	
1	0,0	0	0	0	0
2	12,7	5	-9	10	1
3	23,0	22	-95	98	4
4	30,0	23	-160	162	5

Рис. 9. Исполнительная съемка вертикальности трубы

тром производилось координирование исследуемых точек, расположенных в характерных местах исследуемого объекта. Результаты измерений записывались электронным прибором в выбранный файл регистратора-накопителя. После выполнения всего комплекса измерений данный файл транслировался в ЭВМ и далее импортировался в программу *Credo_Dat*, пред-

назначенную для камеральной обработки полевых инженерно-геодезических измерений. В рассматриваемой программе производился пересчет полярной системы координат электронного прибора в прямоугольную декартову систему координат. Далее производился экспорт полученных трехмерных координат точек в формат *.dxf (*AutoCAD*). Затем полученный

файл открывался в *AutoCAD*-е, где, собственно, производились рисовка и анализ главных геометрических характеристик сооружения.

Электронный тахеометр измеряет горизонтальный угол α , вертикальный угол ν и наклонное расстояние s . Рабочие формулы вычисления пространственных прямоугольных координат исследуемых точек представлены ниже:

$$\begin{aligned} h &= s \cdot \sin \nu; \quad \Delta x = s \cdot \cos \nu \cdot \cos \alpha; \\ \Delta y &= s \cdot \cos \nu \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

Частные крены определялись по следующим формулам:

$$q_x = x_1 - x_2; \quad q_y = y_1 - y_2. \quad (6)$$

Абсолютный (полный) крен Q вычисляется по формуле:

$$Q = \sqrt{(q_x^2 + q_y^2)}. \quad (7)$$

Относительный крен i вычисляется по формуле:

$$i = Q/H, \quad (8)$$

где H – высота сооружения.

В соответствии с разделом 5, ГОСТ 24846-81 (Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений), предельные погрешности измерения крена в зависимости от высоты H наблюдаемого объекта не должны превышать для гражданских зданий и

сооружений величину $0,0001 \times H$. В нашем случае предельная погрешность измерения крена равна 3 мм. Данная точность измерений обеспечивалась использованным прибором (электронный тахеометр *Trimble 3602 DR*).

По результатам измерений получены крены (не вертикальность) трубы. Полный крен трубы приведен на рис. 8.

В табл. 3 и на рис. 9 приведены результаты контроля вертикальности секций трубы.

Согласно СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений», допустимой является величина крена, не превышающая значения $0,005 \times H$. Следовательно, при высоте трубы равной 32 м её допустимый крен равен 160 мм.

Заключение

Измерения выполнены в соответствии с нормативной литературой.

Полный крен 30-метровой металлической дымовой трубы после исправления равен 141 мм, что меньше предельно допустимого крена 150 мм. Для выявления динамики развития кренов является необходимым проведение повторных геодезических наблюдений.

Полный крен 32-метровой дымовой трубы равен 162 мм, что немного превышает допуск 160 мм. Результаты измерений могут быть использованы для выполнения мероприятий по восстановлению эксплуатационной надежности наблюдаемого объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51872-2002 «Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения». Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России). Москва, 2002.
2. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 «Инструкция по проведению технической поверки геодезических приборов».
3. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. Москва: Стандартинформ, 2014.
4. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ, 2010.
5. «Пособие по производству геодезических работ в строительстве (к СНиП 3.01.03-84)» утверждено приказом ЦНИИОМТП № 147 от 10 июля 1985 г.
6. ПР 50.2.002-94 «ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм.

7. «Руководства по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений». Москва: Стройиздат, 1975.
8. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Издание официальное. Госстрой России. Москва, 1997.
9. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. Мин. рег. развития РФ. Москва, 2011.
10. СП 70.13330.2012. Свод правил. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Министерство регионального развития РФ. Москва, 2012.
11. СП 126.13330.2012. Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция. СНиП 3.01.03-84. Министерство регионального развития РФ. Москва, 2012.

DETERMINATION OF THE DEVELOPMENT ROLL BY ELECTRONIC MEANS OF GEODESIC MEASUREMENTS

© I. G. Gayrabekov, Yu. I. Pimshin, A. T. Mishieva, K. S. Shamsudinova
*GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia,
Don State Technical University, Rostov on Don, Russia*

The article describes the methodology and results of geodetic works performed using modern electronic measuring instruments to identify excess rolls 30 meter metal chimney. The values of rolls on separate axes and the absolute value of the roll were determined. Desk processing of the results of geodetic measurements was performed in the program Credo_Dat. Analysis and design of geometric parameters of objects is made in the software product ZWCAD. From the points of the planned justification, the characteristic construction elements of the pipe were surveyed. Control of the geometric parameters of the structure is performed by the coordinate method. It is established that the total roll of 30 meter metal structure after correction does not exceed the maximum permissible value. It is concluded that the facility is suitable for further operation.

It is established that the total roll of the 32-meter metal structure exceeds the maximum permissible value. It is concluded that the need for repeated geodetic measurements in order to identify the dynamics of the rolls. The results of measurements can be used to carry out measures to restore the operational reliability of the observed object.

Key words: instrument station, measuring instruments, office processing, coordinate system, pipe roll.

REFERENCES

1. Gosstroy Rossii, GOSTR, 51872-2002 (2002) «Dokumentatsiya ispolnitel'noy geodezicheskaya. Pravila vypolneniya». Gosudarstvennyi komitet RF stroitel'stvu i zhilishchno-kommunal'nomu kompleksu. [“Geodetic Executive Documentation. Rules of execution”. State Committee of the Russian Federation for construction and housing and communal services (Gosstroy of Russia)]. Moscow.

2. GKNP(GNTA) 17-195-99 «Instruktsiya po provedeniyu tekhnicheskoi poverki geodezicheskikh priborov». [“Instructions for the technical verification of geodetic instruments”].
3. Standartinform. GOST 24846-2012. (2014) Grunty. Metody izmereniya deformatsii osnovanii zdaniy i sooruzhenii. [Soils. Methods for measuring the deformation of the foundations of buildings and structures]. Moscow.
4. Standartinform. GOST R 53778-2010. (2010) Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. [Buildings and constructions. Rules for inspection and monitoring of technical condition]. Moscow.
5. SNiP 3.01.03-84. Approved by order TsNIIOMTP №147. July 10, 1985. «Posobie po proizvodstvu geodezicheskikh rabot v stroitel'stve (k SNiP 3.01.03-84)». [“Manual for the production of geodetic works in construction (SNiP 3.01.03-84)”].
6. PR 50.2.002-94 «GSI. Poryadok osushchestvleniya gosudarstvennogo metrologicheskogo nadzora za vypuskom, sostoyaniem i primeneniem sredstv izmerenii, attestovannymi metodikami vypolneniya izmerenii, etalonami i soblyudeniem metrologicheskikh pravil i norm. [“GSI. The procedure for the implementation of state metrological supervision over the release, condition and use of measuring instruments, certified measurement procedures, standards and compliance with metrological rules and norms].
7. Stroizdat. (1975) «Rukovodstva po nablyudeniya za deformatsiyami osnovanii i fundamentov zdaniy i sooruzhenii». [“Guidelines for the observation of deformations of the foundations and foundations of buildings and structures.”]. Moscow.
8. SP 11-104-97. (1997) Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Izdanie ofitsial'noe. Gosstroy Rossii. [Geodetic engineering surveys for construction. The publication is official. Gosstroy of Russia]. Moscow.
9. Min.Reg. Razvitiya RF. SP 22.13330.2011. (2011) Osnovaniya zdaniy i sooruzhenii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83. [Foundations of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83. Min Reg. Development of the Russian Federation.] Moscow.
10. Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF. SP 70.13330.2012. (2012) Svod pravil. Nesushchie i ograbdayushchie konstruksii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.03.01-87. [Set of rules. Bearing and enclosing structures. Updated edition of SNiP 3.03.01-87. Ministry of Regional Development of the Russian Federation]. Moscow.
11. Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF. SP 126.13330.2012. (2012) Geodezicheskie raboty v stroitel'stve. Aktualizirovannaya redaktsiya. SNiP 3.01.03-84. [Geodetic works in construction. Updated edition. SNiP 3.01.03-84. Ministry of Regional Development of the Russian Federation]. Moscow.