

УДК 528.48

**П. И. СОЛОВЕЙ, А. Н. ПЕРЕВАРЮХА, А. А. БЕЛОВА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЫТЯЖНОЙ БАШНИ**

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы геодезического мониторинга вертикальных осей вытяжной башни и газоотводящего ствола, а также оседаний фундаментов. Выполнен сравнительный анализ точности метода координат и наклонного проектирования, который по трудозатратам значительно меньше метода координат.

**Ключевые слова:** геодезический мониторинг, точность, деформации.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

К высотным сооружениям башенного типа предъявляются повышенные требования к их устойчивости при воздействии ветровой нагрузки, температурных деформаций, неравномерных оседаний и других неблагоприятных факторов. Поэтому эффективный и своевременный геодезический мониторинг таких сооружений позволяет выявить недопустимые деформации и предотвратить возможные аварии.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Вопросам геодезического мониторинга высотных сооружений посвящено большое количество исследований. В основном исследования посвящены железобетонным дымовым трубам, металлическим телебашням и мачтам [1, 3, 8]. Очень мало публикаций уделено геодезическому мониторингу вытяжных башен, которые имеют различие в конструкции и по другому воспринимают нагрузки по сравнению с дымовыми трубами, телебашнями и мачтами.

**ЦЕЛИ**

Выполнить сравнительный анализ геодезического мониторинга вертикальной оси вытяжной башни методами наклонного проектирования и координат.

**ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Металлическая вытяжная башня представляет собой (рис. 1) газоотводящий цилиндрический ствол высотой  $H = 181$  м, диаметром 2 020 мм, который крепится к решетчатому каркасу, представляющему собой усеченную трехгранную пирамиду высотой 158 м. Сечение каркаса имеет вид правильного треугольника, сторона которого изменяется от 27 метров (внизу) до 4 метров (вверху). Фундаменты несущей башни выполнены отдельно под каждый опорный узел. Газоотводящий ствол опирается на решетчатый узел, расположенный за пределами башни.

В результате натурных обследований сооружения оказалось, что крепление газоотводящего ствола к башне в некоторых местах нарушено. В связи с этим возникла необходимость проведения геодезического мониторинга пространственного положения вертикальных осей ствола и башни для объективного анализа причин нарушения крепления.

В процессе эксплуатации разбивочные оси оказались утраченными. В таких условиях выполнить геодезический контроль положения вертикальных осей сооружения эффективным и не трудоемким

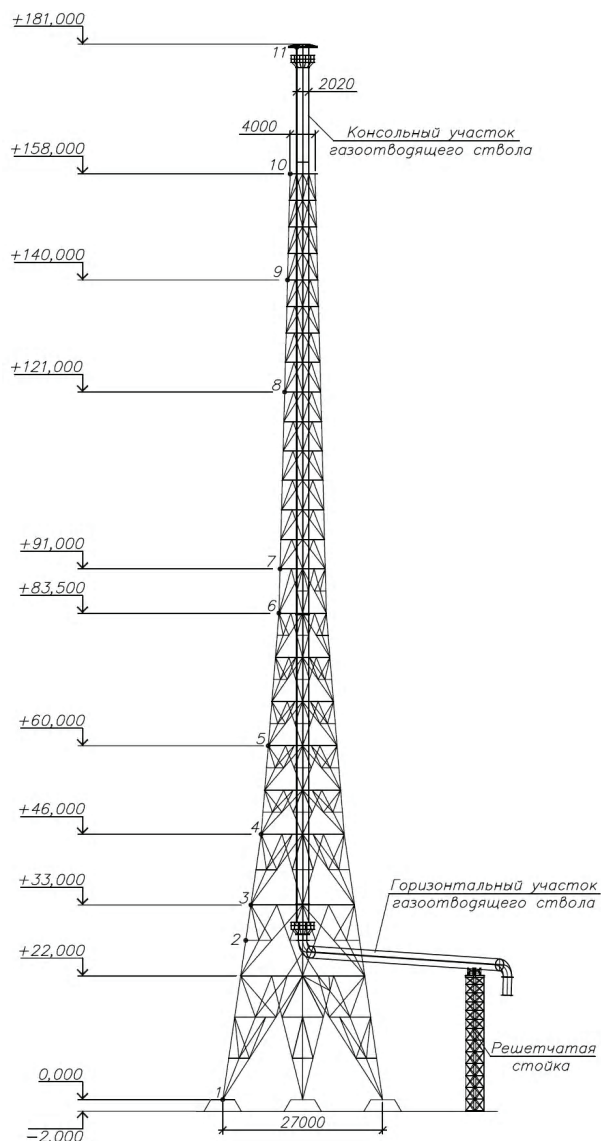


Рисунок 1 – Конструктивная схема вытяжной трубы.

способом наклонного проектирования из опорных пунктов, закрепленных на осях симметрии объекта, оказалось затруднительным. Потребовалось выполнить дополнительные работы по восстановлению осей симметрии сооружения.

Общая погрешность положения точки вертикальной оси  $m_o$  зависит от погрешности восстановления оси симметрии сооружения  $m_{вос}$ , погрешности наклонного проектирования  $m_n$ , погрешности визирования  $m_v$  и выражается формулой:

$$m_o^2 = m_{вос}^2 + m_n^2 + m_v^2 \quad (1)$$

Погрешности наклонного проектирования  $m_n$  и погрешности визирования  $m_v$  достаточно хорошо освещены в геодезических публикациях [5]. Влияние погрешности  $m_{вос}$  восстановления оси симметрии башни изучено недостаточно полно.

Применив принцип равных влияний, запишем:

$$m_{вос} = m_n = m_v = m \quad (2)$$

Подставив формулу (2) в выражение (1), получим:

$$m_o^2 = 3m^2 \quad (3)$$

Откуда:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Предельная погрешность геодезического контроля положения вертикальной оси высотных сооружений регламентируется ГОСТ 24846-81 [4] и не должна превышать:

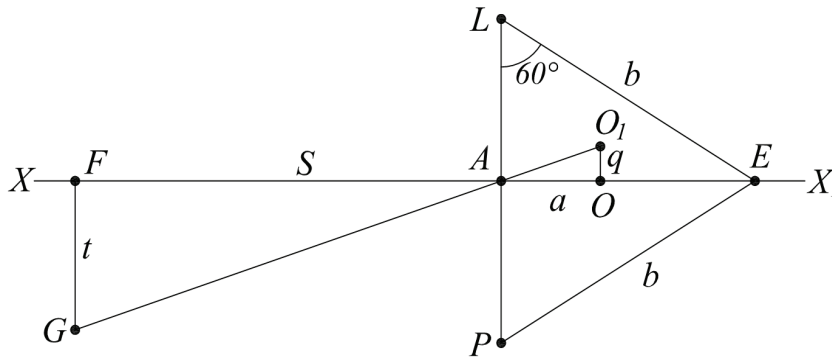
$$m_{Q,пред} \leq 0,0005H, \quad (5)$$

где  $H$  – высота сооружения.

Для рассматриваемой вытяжной башни высотой  $H = 158$  м предельная погрешность составит:

$$m_{Q,пред} \leq 0,0005 \cdot 158 м = 0,079 м.$$

Рассмотрим при какой погрешности восстановления  $m_{вос}$  она на превысит предельную погрешность. Пусть точка  $G$  восстановлена с некоторым отклонением  $t = FG$  от оси симметрии  $XX_1$  (рис. 2).



**Рисунок 2** – Схема геодезического мониторинга вытяжной башни методом наклонного проектирования.

Чтобы определить вероятнейшее направление на центр (точка  $O$ ) контролируемого сечения из точки  $G$  теодолитом (тахеометром) визируют на внешние образующие (точки  $L$  и  $P$ ) вертикальных стоек, берут отсчеты и вычисляют среднее значение из двух отсчетов. Установив среднее значение на горизонтальном круге, визирная ось теодолита пройдет на некотором расстоянии  $q = OO_1$  от центра контролируемого сечения. Из подобия прямоугольных треугольников  $AOO_1$  и  $AFG$  получим:

$$\frac{t}{q} = \frac{S}{a}, \quad (6)$$

где  $S$  – расстояние от теодолита до стороны  $LP$  правильного треугольника  $LPE$ ;  
 $a = AO$  – расстояние от точки  $A$  до центра контролируемого сечения.

Из выражения (6) получим:

$$q = \frac{a \cdot t}{S}. \quad (7)$$

Продифференцировав выражение (7) и перейдя к средним квадратическим погрешностям, получим:

$$m_q = \sqrt{\left(\frac{a}{S} m_t\right)^2 + \left(\frac{t}{S} m_a\right)^2 + \left(\frac{at}{S^2}\right)^2 m_s^2}, \quad (8)$$

где  $m_t = m_{вос}$ ,  $m_a$ ,  $m_s$  – предельные средние квадратические погрешности измерения параметров  $t$ ,  $a$ ,  $S$ .

Анализ формулы (8) показывает, что второй и третий члены подкоренного выражения малы и ими можно пренебречь. Тогда из формулы (8) получим:

$$m_q = \frac{a}{S} m_t, \quad (9)$$

откуда:

$$m_{вос} = m_t = \frac{m_q S}{a} \quad (10)$$

Формула (10) показывает, что средняя квадратическая погрешность восстановления оси симметрии прямо пропорциональна расстоянию  $S$  и обратно пропорциональна параметру  $a$ .

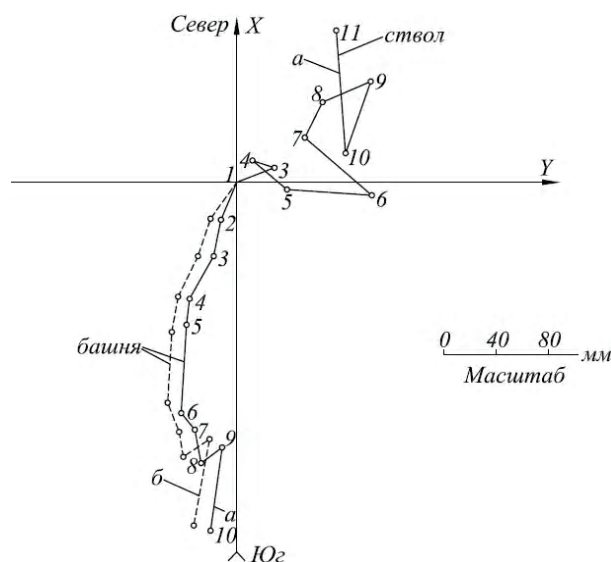
Пусть в контролируемом сечении сторона правильного треугольника  $b = 27$  м (рис. 2),  $a = (b \cdot \operatorname{tg} 30^\circ) / 2 \approx 8$  м. При рекомендуемом [4] расстоянии  $S = 2H = 2 \cdot 158 = 316$  м из формулы (10) получим  $m_{вос} = m_t = 3$  м.

Погрешность восстановления будет уменьшаться с высотой контролируемого сечения, так как параметр  $a$  будет уменьшаться и на высоте  $H = 158$  м составит 1,15 м. При этом погрешность  $m_t$  составит 22 мм, что в 4 раза меньше предельной погрешности.

Специальные исследования показали, что восстановление оси симметрии опытный наблюдатель может выполнить на глаз с погрешностью  $\pm 0,8$  м, что приведет к погрешности контроля положения вертикальной оси  $m_q = 0,020$  м в нижнем сечении. В то же время эта погрешность при контроле оси в верхнем сечении составит 0,003 м и является незначительной.

Кроме способа вертикального проектирования, геодезический мониторинг вытяжной башни выполнялся способом координат. С этой целью возле сооружения был закреплен базис, с пунктов которого были хорошо видны все три ребра решетчатой трехгранной пирамиды башни. Расстояния от пунктов базиса до центра сооружения принимались не менее  $2H$  [4]. Базис  $AB$  был вовлечен в полигонометрический ход заводской полигонометрии 1 разряда. В результате уравнивания хода оказалось, что длина базиса, вычисленная по урavnненным координатам, больше на 27 мм, что могло повлиять на точность вычисления координат контролируемых точек. Было принято решение взять координаты пункта  $A$  и дирекционный угол линии  $AB$  из результатов уравнивания, а координаты пункта  $B$  вычислить из решения прямой геодезической задачи. Этим самым было исключено влияние погрешностей исходных данных. Определение координат контролируемых точек, выполнялось способом прямой угловой засечки, который достаточно хорошо освещен в геодезической литературе [1, 5].

На рисунке 3 представлено плановое положение вертикальных осей вытяжной башни и газоотводящего ствола, полученных способом координат и наклонного проектирования.



**Рисунок 3** – Плановое положение вертикальной оси башни и ствола, полученное способами наклонного проектирования (а) и способом координат (б).

Анализ результатов (рис. 3) показал:

1. Положение контрольных точек вертикальной оси вытяжной башни, полученное способом координат и наклонного проектирования совпадают. Максимальное расхождение составило 21 мм, что подтверждает примерно одинаковую точность обоих методов.

2. Форма планового положения вертикальной оси башни имеет вид прямой линии, направленной в южную сторону, что характерно крену сооружения, вызванному неравномерным оседанием фундаментов башни.

3. Максимальный крен башни зафиксирован на высоте 158 м и составил 272 мм, что в относительной мере равно 0,0017 и не превышает предельно допустимое значение (0,0030) согласно [7].

4. Плановое положение газоотводящего ствола представляет собой хаотичный разброс контролируемых точек, расположенных в северо-восточном направлении. Такая форма вертикальной оси ствола характерна отклонениям, полученным в результате погрешностей монтажа.

5. Максимальное отклонение оси ствола зафиксировано на высоте 181 м и составило 141 мм, что в относительной мере равно 0,00078 и не превышает предельно допустимое значение (0,0030) согласно [7].

6. Геодезический мониторинг оседания фундаментов башни подтвердил вывод о том, что причиной возникновения крена башни является неравномерная осадка фундаментов.

7. Основной причиной нарушения креплений ствола к башне явился образовавшийся крен башни в южном направлении. В то время как газоотводящий ствол остался в неизменном положении.

В заключении отметим, что геодезический мониторинг вертикальных осей вытяжной башни и ствола, выполненный способами координат и вертикального проектирования, по точности примерно одинаковы, но по трудозатратам способ наклонного проектирования почти в 3 раза меньше способа координат.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баран, П. И. Инженерная геодезия [Текст] : монография / П. И. Баран. – К. : ПАТ «ВПОЛ», 2012. – 618 с.
2. Баран, П. И. Определение крена дымовых труб с изолированных опорных пунктов [Текст] / П. И. Баран, П. И. Соловей // Геодезические работы на подрабатываемых территориях : сб. науч. тр. – М. : Науч. труды ВАГО, 1987. – С. 81–85.
3. Бикташев, М. Д. Башенные сооружения. Геодезический анализ осадки, крена и общей устойчивости положения [Текст] / М. Д. Бикташев. – М. : Изд-во ассоциации строит. вузов, 2006. – 376 с.
4. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 18 с.
5. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ [Текст] : учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М. : Недра, 1981. – 438 с.
6. Соловей, П. И. Исследование точности определения величины и направления крена дымовых труб с двух изолированных пунктов [Текст] / П. И. Соловей // Совершенствование геодезических и фотограмметрических работ : сб. науч. тр. – М. : Всес. астрон. геод. о-во при АН СССР, 1990. – С. 93–97.
7. СНиП 2.02.01.-83 Основание зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП II-15-74 и СН 475-75 ; введ. 1985-01-01 / Госстрой СССР. – М. : Стройиздат, 1985. – 40 с.
8. Чирва, А. С. Комплексный подход к исследованию и прогнозированию деформаций металлических башенных и мачтовых сооружений в процессе испытаний, строительства и эксплуатации [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук / А. С. Чирва. – К. : [б. и.], 2012. – 18 с.

Получено 03.10.2018

П. І. СОЛОВЕЙ, А. М. ПЕРЕВАРЮХА, А. А. БЕЛОВА  
ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВИТЯЖНОЇ ВЕЖІ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Розглянуті питання геодезичного моніторингу вертикальних осей витяжної вежі і газовідвідного ствола, а також осідань фундаментів. Виконано порівняльний аналіз точності методу похилого проектування, який за трудовитратами значно менше від методу координат.

**Ключові слова:** геодезичний моніторинг, точність, деформації.

PAVEL SOLOVEJ, ANATOLY PEREVARJUHA, ALINA BELOVA  
GEODETIC MONITORING OF THE EXHAUST TOWER  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The questions of geodetic monitoring of the vertical axes of the exhaust tower and the gas-discharge barrel, as well as the subsidence of the foundations are considered. A comparative analysis of the accuracy of the oblique projection method, which is much less than the coordinate method, is performed.

**Key words:** geodetic monitoring, accuracy, deformation.

**Соловей Павел Илларионович** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование статических и динамических деформаций высотных зданий и сооружений.

**Переварюха Анатолий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование статических и динамических деформаций колеблющихся и вращающихся объектов.

**Белова Алина Александровна** – ассистент кафедры инженерной геодезии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: геодезический мониторинг металлических высотных сооружений башенного типа.

**Соловей Павло Ілларіонович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження статичних і динамічних деформацій висотних будівель і споруд.

**Переварюха Анатолій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження статичних і динамічних деформацій коливних і обертових об'єктів.

**Белова Аліна Олександрівна** – асистент кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: геодезичний моніторинг металевих висотних споруд баштового типу.

**Solovej Pavel** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of static and dynamic deformations of high-rise buildings.

**Perevarjuha Anatoly** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of static and dynamic deformations of varying and rotating objects.

**Belova Alina** – assistant, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: geodetic monitoring of high-rise metal structures of the tower type.