



ГЕОДЕЗИЯ

УДК 528.482

Современные способы определения кренов промышленных дымовых труб

© ¹Никонов А. В., ²Никонов В. Г., 2015

¹ ОАО «Сибтехэнерго», г. Новосибирск
sibte@bk.ru

² ЗАО «Железобетонспецстрой», г. Новосибирск
robeda1945@inbox.ru

Рассмотрены способы определения кренов башенных сооружений с использованием безотражательных тахеометров. Приведены результаты измерения крена ствола дымовой трубы (H = 50 м) способом аппроксимации точек окружностью. Предложено определять осадки фундаментов башенных сооружений методом тригонометрического нивелирования.

Аппроксимация, деформация, крен, тахеометр, точность.

Approximation, deformation, tilt, total station, accuracy.

На российских предприятиях различных отраслей промышленности, отнесенных к опасным производственным объектам, находится более 270 тыс. дымовых и вентиляционных труб различной высоты, диаметра и конструктивных особенностей. Из них порядка 3,5 тыс. монолитных железобетонных труб высотой до 370 м, 15 тыс. кирпичных труб и до 250 тыс. металлических [10]. Высота кирпичных и металлических дымовых труб, как правило, не превышает 100 м. В соответствии с требованиями свода правил [14], наблюдения за кренами стволов труб и осадками фундаментов должны выполняться систематически, а в случае стабилизации осадок – не реже одного раза в пять лет. На сегодняшний день существует множество способов по наблюдению за вертикальностью сооружений башенного типа [9, 12]. Строительство дымовых труб новых конструкций, а также требование регулярного измерения кренов большого количества сооружений башенного типа делают актуальной задачу по совершенствованию существующих методик геодезических наблюдений.

В последние годы, в связи с широким использованием в качестве топлива природ-

ного газа, наблюдается тенденция к строительству металлических дымовых труб высотой порядка 50–60 м. К отличительным особенностям новых дымовых труб можно отнести их частичное расположение внутри производственного корпуса (рис. 1, а, в, г), а также размещение газоотводящего ствола внутри несущего металлического каркаса (см. рис. 1, б, в).

Поскольку нагрузку воспринимает именно несущий каркас (башня), то требуется определять отклонения от вертикали его стоек. Часто дымовые трубы расположены в стесненных условиях промышленной застройки. Иногда несущий каркас находится внутри здания, а газоотводящий ствол выходит наружу через проем в кровле. В подобных случаях определение отклонений стоек каркаса от вертикали по классической схеме – путем измерения горизонтальных углов с пунктов, образующих угол засечки, близкий к 90°, затруднено или невозможно.

Для определения крена сооружения в стесненных условиях необходимо определить координаты его центра в нижнем и верхнем сечениях с одного пункта. В статьях [3, 13] рассмотрены способы опреде-

*Самому Табигулову
С уважением,
от авторов
Александр
Дмитрий*



Рис. 1. Металлические дымовые трубы

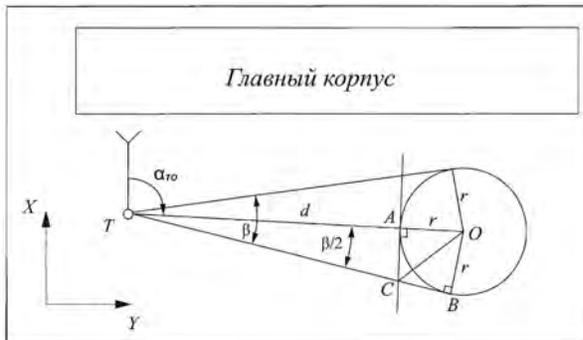


Рис. 2. Схема определения координат центра трубы с одного пункта

ления координат центра цилиндрического сооружения, в которых требуется измерять расстояние от инструмента до одной или трех точек на поверхности сооружения. Однако применяемые в то время приборы (теодолит и рулетка) не могли позволить измерение расстояний до точек в верхнем сечении, что стало возможным с появлением безотражательных тахеометров. Рассмотрим порядок работы на станции, когда для определения координат центра сечения требуется измерить одно расстояние до сооружения.

Над точкой T , с которой наилучшим образом виден измеряемый объект, устанавливается тахеометр (рис. 2). Координаты точки T задаются в условной системе таким образом, чтобы координаты всех точек наблюдаемого сооружения были положительными. Зрительная труба ориентируется в направлении на север (при наличии

буссоли) либо по перпендикуляру к одной из стен главного корпуса, после чего по горизонтальному кругу задается равный нулю отсчет. Затем измеряется малый угол β между левой и правой образующими ствола дымовой трубы (в нижнем сечении) и вычисляется отсчет по горизонтальному кругу в направлении на центр O . Этот отсчет является дирекционным углом α_{TO} линии TO в принятой условной системе координат. После установки зрительной трубы в направлении TO измеряется расстояние до точки A на поверхности сооружения и находится горизонтальное проложение d .

Из решения прямоугольного треугольника TAC получим:

$$AC = d \cdot \operatorname{tg}(\beta / 2);$$

$$TC = d / \cos(\beta / 2).$$

Прямоугольные треугольники AOC и COB равны, как имеющие равные катеты $OA = OB = r$ и общую сторону OC . Тогда $TB = TC + CB = TC + AC$.

Из решения треугольника TBO находим радиус дымовой трубы [13]:

$$r = TB \cdot \operatorname{tg}(\beta / 2) = \frac{d \cdot \sin(\beta / 2)}{1 - \sin(\beta / 2)}. \quad (1)$$

Зная радиус трубы, найдем расстояние от точки установки тахеометра до центра O :

$$TO = TA + AO = d + r. \quad (2)$$

Наконец, вычислим координаты O (центра сечения) из решения прямой геодезической задачи:

$$X_O = X_T + TO \cdot \cos \alpha_{TO}; \quad (3)$$

$$Y_O = Y_T + TO \cdot \sin \alpha_{TO}. \quad (4)$$

Формулы (1)–(4) являются рабочими при вычислении координат центра. Аналогично находятся координаты центра дымовой трубы в верхнем сечении. По координатам центра нижнего и верхнего сечений вычисляются направление и величина крена из решения обратной геодезической задачи. Данная методика хорошо зарекомендовала себя при определении кренов сооружений, которые имеют в сечении форму правильной окружности – стоек каркаса и металлических дымовых труб небольшого диаметра ($D < 2$ м).

Для сварных металлических труб и башенных сооружений большого диаметра ($D > 2$ м) возможны отступления действительной формы поперечных сечений от проектной до нескольких сантиметров. В этом случае методики, основанные на измерении направлений касательных к поверхности сооружения, не позволяют обнаружить в определяемых величинах искажений, а оценка точности может носить формальный характер [6]. В связи с этим предлагается определять крены сооружений на основе дальномерных измерений, что дает возможность оценить величину отклонения формы сечения от окружности.

Для этого в районе наблюдаемого сооружения (рис. 3) прокладывается тахеометрический ход (в условной системе координат), с пунктов которого (T_1, T_2, T_3) определяют в безотражательном режиме пространственные координаты (X_p, Y_p, H_p) нескольких точек на поверхности трубы 1, 2, 3, ..., n в нижнем и верхнем сечениях. Отметки точек на поверхности трубы определяются с тем, чтобы наводить тахеометр строго на один и тот же пояс трубы с разных пунктов наблюдений. Точки на поверхности выбираются с таким расчетом, чтобы угол падения лазерного луча на отражающую поверхность не превышал 40° [5], избегая

дальномерных измерений «по касательной». Чтобы определить взаимное положение точек на поверхности трубы, измеренных с разных станций с ошибкой до 3–5 мм, необходимо прокладывать ход по трехштативной системе. Дальнейшая задача сводится к нахождению центра окружности, которая наилучшим образом аппроксимирует полученный набор точек в каждом сечении. Для этого необходимо найти координаты центра окружности X_O, Y_O с радиусом r , при которых функция следующего вида принимает минимальное значение:

$$\sum_{i=1}^n (r - \sqrt{(X_O - X_i)^2 + (Y_O - Y_i)^2})^2.$$

Решение данной задачи было реализовано на языке программирования C++. Предложенная методика была опробована при определении крена металлической самонесущей дымовой трубы $H = 50$ м. Рассчитаем с какой средней квадратической ошибкой (СКО) необходимо определять значение крена такой трубы исходя из установленного допуска, соответствующего пределу эксплуатационной пригодности. В соответствии с п. 4.7 СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве» ошибки измерений в процессе геодезического контроля точности геометрических параметров сооружений не должны превышать 0,2 величин отклонений, допускаемых

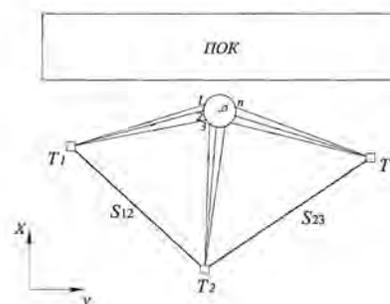


Рис. 3. Схема определения центра сооружения по измерениям расстояний

нормативными документами. Для перехода от предельной ошибки Δ к СКО используется коэффициент t , который принимается равным 2; 2,5 или 3. Тогда в общем виде формула для вычисления СКО примет вид:

$$m = \frac{\Delta \cdot 0,2}{t}. \quad (5)$$

Разными нормативными документами устанавливаются различные значения предельно допустимых кренов Δ (табл. 1). Соответственно вычисленные по формуле (5) ошибки изменяются в пределах от 12 до 32 мм (для $t = 2,5$). Тогда при работе по способу координат центр одного сечения должен быть определен в $\sqrt{2}$ точнее: с СКО не более 8–22 мм.

На начальном этапе крен ствола трубы определялся два раза способом координат из решения прямой угловой засечки. В первый день крен измерялся с двух пунктов с углом засечки $\gamma = 106^\circ$ и составил $Q = 382$ мм. Поскольку измерения с двух пунктов являются бесконтрольными, повторные определения крена выполнялись с трех исходных пунктов, являющихся точками тахеометрического хода. Прямая угловая засечка рассчитывалась в программе Credo_DAT,

значение крена составило $Q = 386$ мм ($m_Q = 4$ мм).

В процессе измерения крена по способу координат после угловых измерений с пунктов тахеометрического хода производилось определение пространственного положения точек на поверхности дымовой трубы. В результате были получены координаты десяти точек в каждом из двух сечений, которые участвовали в процессе аппроксимации. Точки на поверхности трубы располагались в секторе 240° (см. рис. 3). По формуле Гаусса находилось среднее квадратическое отклонение, характеризующее степень отступления фактической формы сечения от правильной окружности:

$$m_r = \sqrt{\frac{\sum (r - r_i)^2}{n}}, \quad (6)$$

где r – радиус окружности из аппроксимации; r_i – расстояние от центра окружности до i -ой точки на поверхности трубы; n – число точек, участвующих в аппроксимации. Отклонения, подсчитанные по формуле (6) при $n = 10$, составили для нижнего и верхнего сечений величины 14 и 25 мм соответственно, а общий крен – $Q = 451$ мм. Радиус окружности, расчи-

Таблица 1

Предельные значения крена для металлической дымовой трубы $H = 50$ м

Нормативный документ	Предельное значение крена		m_Q , мм	Примечание
	Относительный	Абсолютный, мм		
СП 13-101-99 (п. 5.7)	0,008	400	32	Для предприятий Российской Федерации
СП 22.13330.2011 (Приложение Д)	0,005	250	20	Из-за крена фундамента (для объектов нового строительства)
РД 153-34.0-21.524-98 (п. 5.13)	0,004	200	16	Для энергетических предприятий
Руководство по эксплуатации промышленных дымовых и вентиляционных труб, 1993 г. (табл. 4.2)	0,003	150	12	Для предприятий металлургической промышленности
ПБ 03-445-02 (таблица 1)	0,003	150	12	Отменены с 31.08.2014 приказом Ростехнадзора от 01.07.2014 № 287

таный по точкам в нижнем сечении, составил $R_H = 1,371$ м, а по точкам в верхнем сечении – $R_B = 1,367$ м.

Для выявления отступлений фактической формы трубы от проектной в программной среде AutoCAD были оценены величины и направление отклонений точек на поверхности трубы от окружностей, полученных по результатам аппроксимации. Установлено, что отклонения точек от окружности в нижнем сечении несущественны и не превышают 20 мм, в то время как для верхнего сечения максимальное отклонение достигает 50 мм. Это связано с тем, что верхняя царга трубы сплюснута, т. е. имеет форму близкую к эллипсу с размерами полуосей: $a = 1,395$ м; $b = 1,330$ м. Таким образом, разность радиусов верхнего сечения трубы имеет максимальное значение 65 мм, что полностью подтвердилось угловыми измерениями по касательной к образующим ствола трубы.

Чтобы получить более строгие выводы о точности способа определения крена сооружения по координатам точек на его поверхности, произведем расчетный эксперимент. Для этого построим в AutoCAD эллипс с параметрами полуосей $a = 1,395$ м; $b = 1,330$ м и с центром O ($X_O = 10,0$; $Y_O = 20,0$). Определим координаты 15 точек, принадлежащих эллипсу (рис. 4). Бу-

дем производить процесс аппроксимации для различных вариантов расположения и количества точек (табл. 2).

Из анализа данных табл. 2 следует, что наибольшие смещения центра результирующей окружности от центра заданного эллипса наблюдаются, когда исходные точки расположены неравномерно: в секторе 90° или 170° (варианты 4, 7, 8). Ошибки в этом случае составляют от 34 до 89 мм. При равномерном расположении исходных точек смещение центра окружности с центра эллипса не превышает 22 мм, а величины m_r дают реальное представление об отступлениях формы сечения от окружности. Из приведенного примера следует, что для

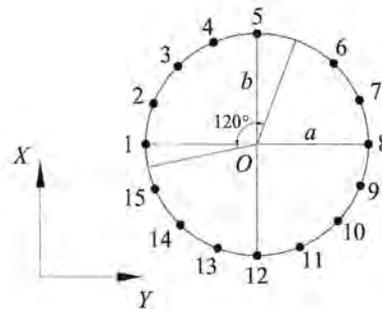


Рис. 4. Схема расположения точек на поверхности эллипса, участвующих в аппроксимации

Таблица 2

Результаты аппроксимации точек на эллипсе окружностью

Вариант	Точки	Смещение центра окружности, мм		Радиус r , м	m_r , мм
		по X	по Y		
1	1–15	+3	+1	1,364	23
2	1, 5, 8, 12	0	0	1,362	37
3	6–15	+22	+1	1,373	18
4	1–5	–37	–34	1,364	3
5	3, 6, 10, 14	–1	0	1,362	2
6	1, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 14	0	–1	1,362	25
7	9–15	+89	–1	1,422	3
8	1–4; 13–15	–1	–85	1,306	3
9	1, 5, 8, 12, 10	–1	0	1,363	32

получения достоверных результатов необходимо в каждом сечении определять координаты не менее четырех–семи точек, равномерно расположенных на поверхности трубы (в секторе не менее 240°).

В действительности труба в сечении может иметь неправильную форму, вызванную дефектами монтажных работ, вмятинами. Тогда величины кренов, полученных разными способами, могут иметь заметные расхождения. В нашем случае величина крена из решения угловой засечки оказалась на 65 мм меньше величины крена, полученного по координатам точек на поверхности трубы. Направления отклонений верха ствола трубы от вертикали, полученные различными способами, отличаются не более, чем на 2° .

В руководстве [12] рекомендуется выполнять наблюдения за кренами труб с одних и тех же пунктов в разных циклах. Это позволяет исключить ошибки систематического характера при определении приращений крена, в том числе ошибки за неправильность формы сооружения. Такие постоянные пункты могут представлять собой тумбы с устройствами для принудительной центрировки прибора либо геодезические центры, над которыми прибор устанавливается на штативе. Установка первых пунктов требует материальных затрат и зачастую невозможна в тех местах, откуда наилучшим образом виден ствол трубы, а геодезические центры в условиях промышленной площадки нередко утрачиваются.

Для обеспечения долговременной сохранности геодезической основы целесообразно использовать отражательные пленки или металлические пластины с кернением, закрепляемые на капитальных зданиях на удобной высоте [1]. В первом цикле измерений координаты таких стенных знаков определяются с точек тахеометрического хода полярным способом. В последующих циклах координаты стенных знаков используются в качестве исходных при производстве обратной линейно-угловой

засечки. После первого определения координат тахеометра по результатам засечки его положение может быть скорректировано для строгой установки прибора в одном месте в разных циклах. Исследованиями [7] установлено, что ошибка обратной засечки от двух–трех исходных пунктов не превышает 1–2 мм при благоприятной конфигурации и стабильности геодезической основы.

После определения координат точки установки тахеометра ориентируют прибор, принимая в качестве исходного направление на один из стенных знаков, удаленных на 50–120 м. В разных циклах наблюдений в качестве исходного принимается один и тот же ориентирный стенной знак (отражательные пленки). Постоянство этого направления (в пределах $10''$) в процессе измерений на станции говорит о стабильном положении прибора. После ориентирования прибора производится определение крена ствола трубы по любому из ранее описанных способов. Преимуществами такого подхода являются определенная свобода в выборе места установки прибора, обеспечивающая лучшую видимость всего сооружения в каждом цикле, а также возможность отказаться от связи пунктов наблюдений проложением ходов.

Описанная схема организации геодезических наблюдений кренов особенно актуальна, когда часть трубы находится внутри здания. Например, при строительстве 4-ой очереди Череповецкой ГРЭС абсолютный крен дымовой трубы ($H = 60$ м) был определен до монтажа ограждающих конструкций (см. рис. 1, *a*) способом прямой угловой засечки с трех пунктов (рис. 5, *a*). Затем от знаков стенного типа ($K_1 - K_7$), закрепленных на территории промплощадки для обеспечения строительства, производилась обратная засечка, в результате чего были получены координаты точек установки тахеометра (см. рис. 5, *b*; т. 1, т. 2, т. 3). С этих точек определялись координаты трех марок (оп1, оп2, оп3), закрепленных на верхней царге трубы. После того, как была закрыта

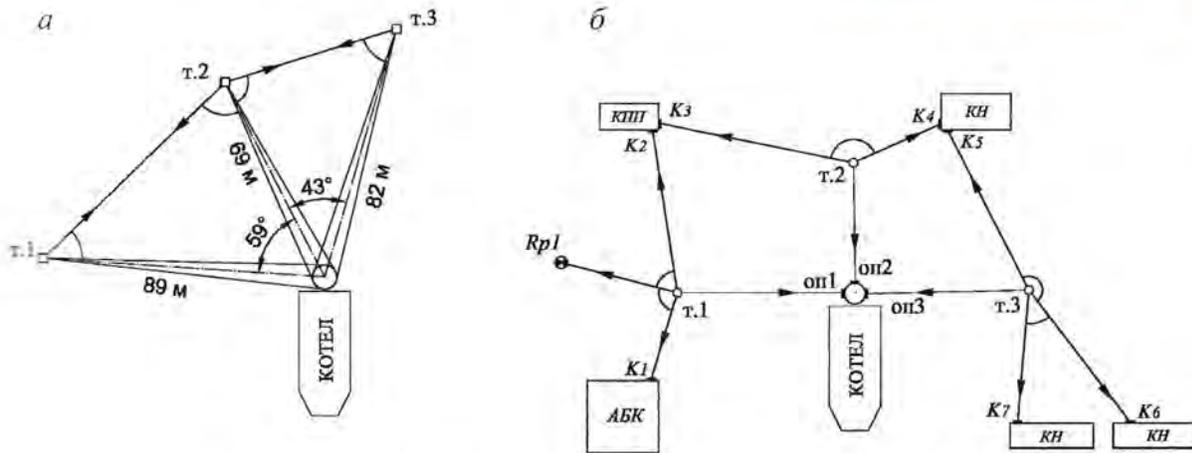


Рис. 5. Схемы определения крена дымовой трубы ($H = 60$ м)

видимость на нижнюю часть трубы, крен контролировался по координатам марок в верхнем сечении.

Часто при определении крена дымовых труб ограничиваются наблюдением только нижнего и верхнего сечений. Однако определение такого параметра, как искривление ствола трубы позволяет более точно определить причины деформаций, поскольку отклонение ствола трубы от вертикали может быть вызвано как креном фундамента, так и изгибом ствола. Величина искривления ствола в некоторых случаях может превышать крен всей трубы. Например, ствол дымовой трубы ($H = 300$ м) одной из ГРЭС на отметке $+100,0$ м отклоняется от вертикали на 784 мм при отклонении верха трубы на 298 мм (рис. 6).

Последние геодезические наблюдения за вертикальностью ствола дымовой трубы в нескольких сечениях были выполнены предприятием «Сибтехэнерго» в 1988 г. (см. рис. 6, график красным цветом). В 2014 г. авторами статьи были выполнены повторные наблюдения (см. рис. 6, график черным цветом). Из рис. 6 следует, что несмотря на значительный изгиб ствола (до 784 мм) положение монолитной железобетонной трубы является стабильным.

Крен рассматриваемой трубы ($H = 300$ м) определялся по способу малых углов с трех пунктов T_1, T_2, T_3 при отсутствии видимости между ними (рис. 7). Угол засечки был определен по спутниковому снимку территории ГРЭС. Снимок после импорта

в программу AutoCAD масштабировался и использовался в качестве подложки. Места установки тахеометра намечались по расстояниям, которые были измерены в поле до трех хорошо идентифицируемых на снимке объектов (углы зданий, эстакады). После определения на снимке пунктов наблюдений с них вычерчивались направления на центр дымовой трубы и замерялись углы засечки γ .

По измеренным малым углам между направлениями на центр нижнего и центр верхнего сечений вычислялись значения частных кренов q в линейной мере. Расстояния до трубы определялись по снимку. После вычисления частных кренов в AutoCAD графическим способом определялся полный крен. Качество измерений оценивалось по размеру треугольника погрешностей. Следует отметить, что реали-

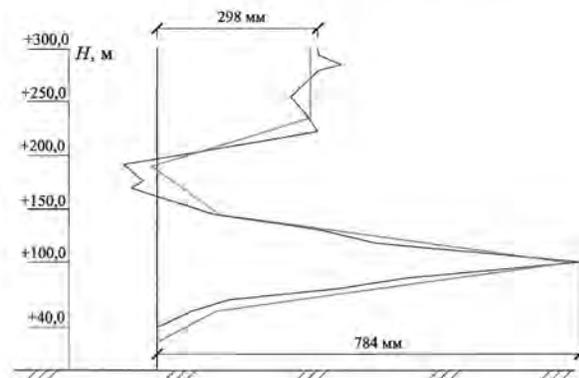


Рис. 6. График искривления ствола железобетонной дымовой трубы ($H = 300$ м)

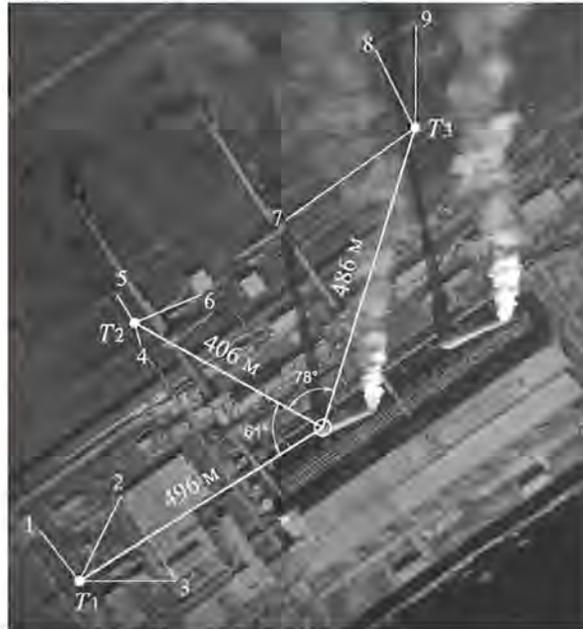


Рис. 7. Схема наблюдений за креном дымовой трубы по способу малых углов

зация графического способа определения крена в AutoCAD не уступает расчетному, так как все построения выполняются с точностью до 1 мм.

По углу засечки γ , определенному по спутниковому снимку (раньше использовался генплан), можно вычислить величину полного крена без графических построений по известной формуле [12]:

$$Q = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 - 2Q_1Q_2 \cos \gamma},$$

где Q_1 , Q_2 – величины полных поперечных кренов (полученные из экстраполяции частных поперечных кренов q на всю высоту сооружения) с пунктов наблюдений T_1 и T_2 . Аналогично величина полного крена определяется из засечки по данным наблюдений с пунктов T_2 и T_3 . За окончательное значение полного крена принимается среднее из двух комбинаций.

В комплекс работ по определению крена дымовой трубы входит нивелирование осадочных марок, заложенных в цокольной части трубы. Наибольшее влияние на устойчивость сооружения может оказать крен фундамента, вызванный неравномерными деформациями грунтов основания. Обычно

эти работы выполняют методом высокоточного геометрического нивелирования, что предполагает наличие на объекте комплекта соответствующего оборудования – нивелира и реек.

Рассчитаем по формуле (5), с какой точностью необходимо определять крен фундамента из нивелирования. Величина крена фундамента, вызванного деформациями основания, согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» не должна превышать в относительной мере: 0,005 для труб высотой $H < 100$ м, $1/2H$ – для труб большей высоты. Произведем расчет для двух дымовых труб: металлической ($H = 50$ м) диаметром 2,8 м и железобетонной ($H = 300$ м) с диаметром в основании 32 м. Для металлической трубы предельная разность осадок марок, установленных по диаметру трубы, не должна превышать 14 мм, для железобетонной – 53 мм. Тогда СКО превышения между марками, расположенными на противоположных сторонах фундамента, не должна в каждом цикле измерений превышать величин 0,6 и 2,5 мм. Применение метода тригонометрического нивелирования электронным тахеометром с легкостью позволяет определить превышение между рядом расположенными марками с требуемой точностью [8].

Значение абсолютной осадки в соответствии с ГОСТ 24846-2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» требуется определять с ошибкой не более 1 мм. То есть в каждом цикле измерений отметка на осадочную марку трубы должна быть передана от ближайшего репера с ошибкой не более 0,7 мм. Многочисленными исследованиями установлено, что тригонометрическое нивелирование короткими лучами (5–20 м) способом из середины может обеспечить определение превышения на станции с СКО 0,15–0,25 мм [2, 4, 8]. Для достижения указанной точности измерения должны выполняться по определенной методике, например изложенной в статье [11]. Если измерять превышение с ошибкой $m_{\text{ст}} = 0,2$ мм, а длину плеч принять равной

20 м, то для достижения условия $m_h < 0,7$ мм количество станций в ходе не должно превышать 12. Значит репер должен располагаться в пределах 0,5 км от исследуемого объекта, что практически всегда соблюдается. Для исключения грубых ошибок и повышения точности результатов измерений ход, как и при нивелировании горизонтальным лучом, прокладывают в двух направлениях.

Таким образом, весь комплекс геодезических наблюдений за дымовыми трубами может быть выполнен с использованием безотражательного электронного тахеометра. Описанные в статье методики определения кренов стволов дымовых труб и осадок их фундаментов были успешно опробованы на следующих объектах: Бийская ТЭЦ-1, Экибастузская ГРЭС-1, Череповецкая ГРЭС, Няганская ГРЭС, Назаровская ГРЭС, Южно-Сахалинская ТЭЦ-1 и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин Д. А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 16–22.
2. Беспалов Ю. И., Мирошниченко С. Г. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
3. Кислый И. М., Сова В. С. Определение центра инженерного сооружения цилиндрической или конусообразной формы // Геодезия и картография. – 1963. – № 9. – С. 29–31.
4. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования / Ю. И. Беспалов, Ю. П. Дьяконов, Т. Ю. Терещенко // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
5. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром // Интернет-вестник ВолгГАСУ, Сер.: Политематическая. – 2011. – Вып. 2(16). URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&artid=548>.
6. Нестеренок В. Ф. О точности упрощенных способов определения крена башенных сооружений // Геодезия и картография. – 1977. – № 8. – С. 31–34.
7. Никонов А. В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб. материалов в 3-х томах (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: изд. СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 93–100.
8. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: Сб. материалов в 3-х томах. – Новосибирск: изд. СГГА, 2013. – Т. 1. – С. 78–86.
9. Обобщение геодезических методов определения крена дымовых труб промышленных предприятий / Е. Н. Губенко, А. С. Ким, М. А. Красавцев // Геодезия и картография. – 1978. – № 10. – С. 39–49.
10. Осоловский В. П. О качестве работ по экспертизе промышленной безопасности и восстановлению работоспособного состояния дымовых и вентиляционных труб. Промышленная безопасность дымовых и вентиляционных промышленных труб: Сб. науч. тр. по материалам консультац.-метод. семинара, 19 июня 2008. – Уфа: БАЭ, 2008. – 126 с.
11. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
12. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами / Центр. н.-и. и проект.-эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи стр-ву Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
13. Соустин В. Н. О методах определения радиуса и координат центра сооружений, имеющих в плане форму круга // Геодезия и картография. – 1970. – № 12. – С. 40–43.
14. СП 13-101-99 «Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб». – М.: Госстрой России, 1999. – 22 с.

Summary

The article deals with methods of determination tilt tower by reflectorless total stations. The results of measuring tilt tower ($H = 50$ m) by means of approximating points circle are presented. Proposed to determine vertical displacements by trigonometric leveling. ■