

УДК 528.48[621/64:661.5]

**Чадович Н. В.**

**Научный руководитель: к.т.н., доцент Кандыбо С. Н.**

## **ОБОСНОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРЕНА СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА**

Сооружениям башенного типа на стадии строительства и эксплуатации, вследствие их конструктивных особенностей и постоянного влияния техногенных и природных факторов, могут претерпевать различного вида деформации, то есть различные изменения в их пространственном положении. Подобные деформации вызывают дополнительный момент, который может привести к потере устойчивости сооружения. Цель геодезических наблюдений – получить численные данные, характеризующие абсолютные величины деформаций для осуществления мероприятий по предотвращению возможных разрушений. Поэтому, проблема выбора и обоснования рациональных способов получения максимума информации о пространственном положении сооружений башенного типа всегда являлась вполне своевременной и актуальной задачей, неразрывно связанной с новейшими достижениями науки и техники.

Предельные деформации сооружений устанавливаются правилами технической эксплуатации соответствующих сооружений, технологическими или архитектурными требованиями, а при их отсутствии, в случаях окончательных расчетов сооружений III уровня ответственности и предварительных расчетов сооружений II уровня ответственности с геотехническим риском строительства А и Б, предельные деформации допускается принимать по таблице В.1 ТКП 45-5.01-254-2012 «Основание фундаментов зданий и сооружений. Основные положения» [1]. Согласно [1], для дымовых труб высотой до 100 включительно относительный крен не должен превышать величины – 0,005, для дымовых труб высотой от 100 до 300 метров –  $1/(2H)$ , для жестких сооружений высотой до 100 м – 0,004. Для антенных сооружений связи: стволы мачт заземления – 0,002; стволы мачт, электрически изолированные – 0,001. Согласно [2], предельные абсолютные погрешности измерения крена в зависимости от высоты  $H$  объекта и вида фундамента не должны превышать:  $0,0001H$  – для гражданских зданий;  $0,0005H$  – для промышленных зданий, дымовых труб, доменных печей, башен и др.;  $0,00001H$  или  $0,00001L$  [где  $L$  – длина (ширина) фундамента] для фундаментов под машины и агрегаты. Например, для промышленного здания высотой 20 м предельное значение погрешности измерения крена равно  $m_{Qпред} = 10$  мм, а для дымовой трубы высотой 300 м –  $m_{Qпред} = 150$  мм.

Требования к необходимой точности геодезических измерений можно также установить в зависимости от требований к предельным значениям кренов сооружений, изложенных в нормативных документах. Исследования российских и зарубежных ученых [3,4,5], связанных с нормированием точности геодезических работ, как правило направлены на обоснование корректного перехода от допусков СНиП и других нормативных документов к средним квадратическим погрешностям (СКП)  $m$  геодезических измерений. Наиболее часто точность геодезических измерений устанавливается путем введения так называемых понижающих коэффициентов  $k$  на такие допуски, которые находятся в пределах 0,2 – 0,7.

Рассчитаем предельные значения крена для промышленных труб с учетом требований нормативных документов [1, 2]:

**Таблица 1 – Предельные значения крена для промышленных труб**

Вид конструкции	Высота трубы, м	Предельно допустимое значение крена		Средняя квадратическая погрешность $m_Q = \frac{kQ}{2}$ , мм
		Абсолютное Q, мм	Относительное значение Q/H	
Металлические трубы	20	60	0,0033	6
	40	120		12
	60	180		18
	80	240		24
	100	300		30
	120	360		36
Кирпичные, железобетонные, неметаллические трубы	20	140	0,007	14
	40	280		28
	60	420		42
	80	550		55
	100	650	0,0065	65
	120	680	0,0057	68
	150	700	0,0047	70
	200	700	0,0035	70
	250	700	0,0028	70
	300	700	0,0023	70

Согласно требований [2] предельные (допустимые) погрешности измерения крена не должны превышать 0,2 величины строительных допусков, т.е.  $k = 0,2$ . Для предельных абсолютных величин Q, приведенных в таблице 1 имеем следующие предельные погрешности определения крена:

$m_{Q\text{пред.}} = 12$  мм для металлической дымовой трубы высотой  $H = 20$  м;

$m_{Q\text{пред.}} = 36$  мм для металлической дымовой трубы высотой  $H = 60$  м;

$m_{Q\text{пред.}} = 140$  мм для кирпичной дымовой трубы высотой  $H = 300$  м и т.д.

За требуемую точность определения крена будем принимать величину, равную половине предельной погрешности. Таким образом, средние квадратические погрешности определения крена  $m_Q = \frac{kQ}{2}$  не должны превышать величин:

$m_Q = 6$  мм для металлической дымовой трубы высотой  $H = 20$  м

$m_Q = 18$  мм для металлической дымовой трубы высотой  $H = 60$  м;

$m_Q = 70$  мм для кирпичной дымовой трубы высотой  $H = 300$  м и т.д.(табл.1).

В работе [4] предложена методика перехода от допусков нормативных документов к СКП геодезических измерений в зависимости от величины нормируемого множителя  $t$ , которому соответствует определённая величина вероятности  $p$

$$m_Q = \frac{kQ}{t}, \quad (1)$$

где Q – абсолютная величина крена сооружения;

k– понижающий коэффициент;

t – нормируемый множитель.

Формула (1) позволяет осуществлять корректный переход от допусков нормативных документов [1,2] к СКП геодезических измерений с учётом степени доверительной оценкой точности. Приведем расчет СКП определения крена для металлической дымовой трубы высотой  $H = 60$  м при различных значениях  $t$  и предельном значении крена  $Q = 180$  мм.

**Таблица 2. - Соотношения между  $m$  и  $t$  при  $k= 0,2; 0,3; 0,4$**

$t$	Вероятность, $p$	СКП определения крена, мм		
		0,2	0,3	0,4
1.6	0.890	22	33	45
2.0	0.955	18	27	36
2.5	0.988	14	22	29
3.0	0.997	12	18	24

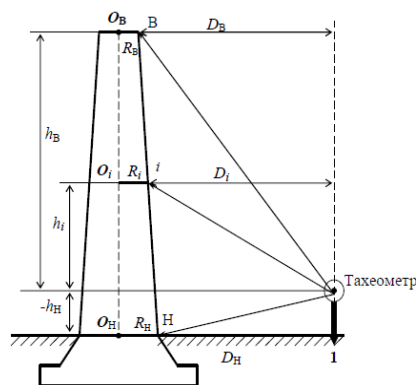
Анализ данных таблицы 2 показывает, что требования к точности геодезических измерений меняется от  $m_Q = 12$  мм до  $m_Q = 45$  мм (почти в 4 раза) в зависимости от значений нормируемого множителя  $t$  и коэффициента  $k$ . Следует отметить, что параметр  $t$  следует выбирать не только в зависимости от имеющихся приборов, точности выполнения работы и её методики, но и из экономических соображений и важности выполняемой работы. Основными факторами, влияющими на выбор методов и средств геодезических измерений, являются: характеристика объекта и вид контролируемых геометрических параметров; требуемая точность контроля параметра; характеристика условий измерений; продолжительность процесса измерений; стоимость средств измерений и контроля в целом; наличие средств измерений и специалистов, выполняющих контроль [4]. Сравнивая требования к необходимой точности определения крена сооружений, и значений их СКП рекомендуется обеспечивать некоторый запас точности при расчете необходимой точности измерений и выборе методов и средств геодезических измерений

В работе [6] приведен расчет необходимой точности геодезических измерений и некоторые рекомендации. Для способа координат необходимо учитывать следующие параметры: значение угла засечки должно находиться в пределах от  $60^\circ$  до  $120^\circ$  ( $60^\circ \leq \gamma \leq 120^\circ$ ); исходные опорные геодезические пункты следует выбирать на расстоянии, не превышающем  $3H$ , где  $H$  – высота сооружения; использовать точные угловые приборы, обеспечивающих среднюю квадратическую погрешность измерений углов  $2''$ – $5''$ .

Анализ научно-технической литературы [3,4,5] показывает, что практически всем известным способам определения крена высоких сооружений присущи недостатки, связанные с жесткими требованиями к выбору места расположения исходных геодезических пунктов для производства наблюдений в двух или более направлениях. В условиях застроенной территории промышленных предприятий (особенно при наблюдениях металлических труб, расположенных внутри производственных корпусов) эти требования выполнить крайне сложно.

В связи с этим актуальной задачей является разработка и создание надежных методов определения геометрических параметров сооружений башенного типа, основанных на использовании бесконтактного оборудования доступной стоимости. Дистанционные подходы измерений основаны на применение современного геодезических приборов: электронных тахеометров, систем наземного лазерного сканирования, спутниковых методов и др.

Одним из таких способов является линейный способ определения крена, основанный на применении электронных тахеометров с большим диапазоном измерений расстояний в безотражательном режиме (до 500 м). В линейном способе горизонтальные проложения  $D$  измеряют при помощи электронного тахеометра от точки стояния прибора до середины, например, дымовой трубы в её нижнем, промежуточных и верхних сечениях. Сравнивая между собой суммы  $D$  и соответствующих им радиусов наблюдаемых сечений, находим величину частных и общего крена трубы.



**Рисунок 1 – Схема определения крена дымовой трубы путём линейных измерений**

Прибавив к каждому горизонтальному проложению  $D_H, D_i, D_B$ , вычисленный соответствующий радиус трубы  $R_H, R_i, R_B$ , можно вычислить крен трубы по направлению наблюдения (рис. 1.)

$$\left. \begin{aligned} K_B &= (D_B + R_B) - (D_H + R_H) \\ K_i &= (D_i + R_i) - (D_H + R_H) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

знак плюс означает крен влево, то есть по направлению наблюдения, а знак минус – вправо, то есть противоположному направлению.

Аналогичные измерения можно провести с другой точки по направлению, перпендикулярному первоначальному. Линейный способ может с успехом применяться для обычных и ферменных металлических труб одного диаметра, в то время как для кирпичных и железобетонных труб необходимо знать радиусы наблюдаемых сечений. Фактические радиусы могут быть определены путем непосредственных измерений периметра  $2\pi R$  доступных наблюдаемых сечений, однако это не всегда возможно [4].

Использование электронного тахеометра безотражательного типа даёт возможность совместить линейный способ определения крена с определением радиуса любого сечения. Сущность способа заключается в следующем. В каждом сечении измеряют трехмерные координаты не менее шести точек поверхности сооружения и проецируют их на горизонтальную плоскость. Камеральная обработка заключается в определении координат центров окружностей  $x$  и  $y$  и их радиусов в каждом сечении:

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{\Delta_x}{\Delta} \\ y &= \frac{\Delta_y}{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\Delta$  равно

$$\Delta = 4(x_1 - x_2)(y_1 - y_3) - 4(x_1 - x_3)(y_1 - y_2) \quad (4)$$

а числители  $\Delta_x$  и  $\Delta_y$  находят по формулам:

$$\Delta_x = [x_1^2 - x_2^2] + (y_1^2 - y_2^2)(y_1 - y_3) - [x_1^2 - x_3^2] + (y_1^2 - y_3^2)(y_1 - y_2)$$

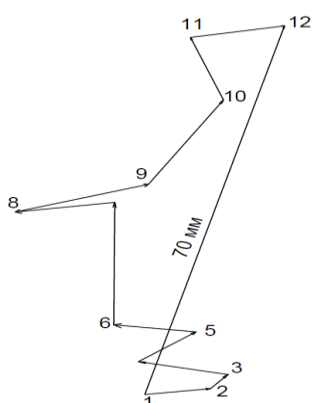
$$\Delta_y = [x_1^2 - x_3^2] + (y_1^2 - y_3^2)(x_1 - x_3) - [x_1^2 - x_2^2] + (y_1^2 - y_2^2)(x_1 - x_2)$$

По координатам центра можно вычислить радиус  $R$  наблюдаемого сечения по формулам

$$R = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2}$$

$$= \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2} \quad (5)$$

получая по ним три одинаковых значения радиуса.



**Рисунок 2. Смещение центров сечения сооружения по уровням**

Если число точек больше трех, возникает задача подборка окружности оптимального радиуса  $R_{opt}$  наименее отклоняющейся от заданных точек. Вычисление радиусов сечений и определение координат их центров по методу наименьших квадратов можно выполнить в системе MatLab, в программе LisCAD и др.

По координатам центров наблюдаемых сечений определяют частные и общий крен сооружения даже с одной станции тахеометра. Измерив расстояние между центрами окружностей, например, для сечения 1 (точка 1) и 12 (точка 12), получим абсолютное значение крена сооружения (рис. 2).

Таким образом, метод геодезического контроля кренов сооружений башенного типа с использованием электронных тахеометров имеет ряд преимуществ: позволяет определять величину крена и его направление с одной станции; применим для сооружений различной конфигурации и высоты; позволяет оперативно получать результаты; точность результатов в меньшей мере зависит от расположения опорных геодезических пунктов. Применение метода особенно актуально на крупных промышленных предприятиях, где имеются десятки сооружений башенного типа.

Для линейного способа теоретическая погрешность определения крена сооружений зависит в основном от точности линейных измерений, и при использовании точных электронных тахеометров с СКП углов  $m_\beta = 2 - 5''$  и СКП измерения расстояний  $m_s = 2 - 3$  мм составит  $\pm 6-9$  мм соответственно [6]. Это удовлетворяет требованиям к точности определения крена сооружений различной конструкции и высоты (табл.1) ( так максимальная точность  $m_Q = 6$  мм требуется при наблюдениях металлической дымовой трубы высотой  $H = 20$  м).

Общеизвестно, что точность измерения расстояний в безотражательном режиме зависит от цвета, формы и размера цели, на которую выполняется измерение, углов визирования на отражающие поверхности, влажности воз-

духа и поверхности, природных осадков, рассеивание лазерного луча при увеличении расстояний до объекта и др. Последний аспект - рассеивания луча влияет на предельные ограничения в измеряемых расстояниях электронными тахеометрами в безотражательном режиме.

Для разработки практических рекомендаций по применению вышеизложенного метода необходимо выполнить исследования точности безотражательного режима измерений расстояний электронными тахеометрами различных фирм.

#### **Список цитированных источников**

1. ТКП 45-5.01-254-2012. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения: – Введ. 01.07.2012. – Минск: МАиС РБ, 2012. – 102 с.
2. П1-2019 к ТКП 45-1.03-313-2018 Геодезические работы в строительстве. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2019. – 75 с.
3. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами. – Москва: Стройиздат, 1981 – 54 с.
4. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы высоких сооружений башенного типа: моногр. / Г.А. Шеховцов. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 216 с.
5. Марфенко, С.В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений: Учебное пособие / С.В. Марфенко // М.: Изд-во Московского государственного ун-та геодезии и картографии. 2004. – 35 с
6. Смулько, Т.В. Определение кренов сооружений башенного типа / Т.В. Смулько // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. – Брест: БрГТУ, 2019 – Ч. 1. – С. 250-254;

УДК [691.535:693.554]:666.193.2

**Чадович Н. В.**

**Научные руководители: ассистент Смулько Т. В., доцент Кандыбо С. Н.**

#### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КРЕНА СООРУЖЕНИЯ БАШЕННОГО ТИПА ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ**

Одним из дистанционных способов определения крена сооружений башенного типа является линейный способ, основанный применении электронных тахеометров с большим диапазоном измерений расстояний в безотражательном режиме (до 500 м). Он позволяет вычислить координаты поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях и определять величину крена и его направление даже с одной станции [2].

Цель работы - определить крен колокольни Свято-Воскресенского собора (г. Брест) способом способ координат и линейным способом и выполнить сравнение полученных результатов.

**Организация наблюдений.** Для организации наблюдений на местности вокруг сооружения на расстоянии 1,5-2 высоты были выбраны и закреплены три пункта А, С и В (рис. 1). Их координаты были определены относительно