

Словом, остановив свой выбор на данных конструкциях, можно получить в кратчайшие сроки, без предварительных изысканий и капиталовложений, новое сооружение.

### Список литературы

1. [Электронный ресурс]. – Режим доставки: <https://www.vagondom.com/prefab/bystrovozvodimye-zdaniya-na-baze-blok-modulej.html>
2. [Электронный ресурс]. – Режим доставки: <https://www.vagondom.com/prefab/bystrovozvodimye-zdaniya-na-baze-blok-modulej.html>
3. [Электронный ресурс]. – Режим доставки: <https://avrial.ru/blog-kompanii/bystrovozvodimye-blok-modulnye-zdaniya>

УДК 528.48[621/64:661.5]

**Смулько Т. В.**

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНОВ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

Цель данной работы – выполнить анализ существующих методов определения кренов инженерных сооружений, сравнить точностные характеристики метода координат и метода, основанного на использовании электронных тахеометров, дать практические рекомендации по применению метода.

Крены инженерных сооружений, т. е. наклоны сооружения башенного типа относительно его проектной вертикальной оси симметрии, являются следствием действия таких факторов, как: неравномерное сжатие грунтов у основания сооружения под воздействием его веса; ветровой напор; солнечный нагрев и т. д. Крены сооружений при достижении значительной величины могут вызвать непосредственную угрозу прочности и устойчивости сооружения.

Крен сооружения может быть выражен в линейной, угловой, абсолютной и относительной мере. Под линейной величиной абсолютного крена в  $i$ -м цикле наблюдений понимается отрезок между проекциями центра подошвы фундамента и положения центра верхнего сечения сооружения на координатную (горизонтальную) плоскость. Приращение крена в линейной мере представляет собой расстояние (отрезок) между проекциями положений центра верхнего сечения сооружения в двух циклах наблюдений на координатную плоскость. Абсолютный крен в угловой мере определяется острым углом между отвесной линией в центре подошвы фундамента и положением оси сооружения в  $i$ -м цикле. Относительным креном называют отношение линейной величины абсолютного крена сооружений в  $i$ -м цикле к высоте сооружений.

Наблюдения за кренами сооружений проводятся в соответствии с требованиями ТКП 45-1.03-26-2006, в которых даны следующие допуски на величины кренов:

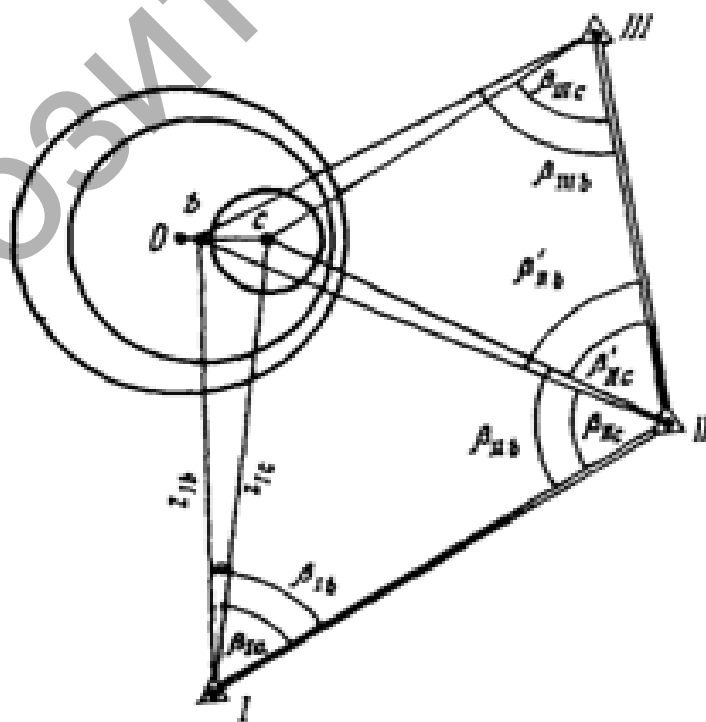
- для промышленных дымовых труб предельные относительные крены:  
 $(Q/H)_{пр} = 0,0005$  при  $H \leq 100$  м;  
 $(Q/H)_{пр} = 0,005$  при  $H > 100$  м;
- для прочих жестких сооружения высотой до 100 м:  $(Q/H)_{пр} = 0,004$ ;
- для антенных сооружений  $(Q/H)_{пр} = 0,001 - 0,002$ .

В проектах для сооружений башенного типа предусматриваются измерения кренов как при строительстве, так и при эксплуатации сооружений. Наиболее полную информацию о закономерностях изменения крена сооружения при эксплуатации дают систематические геодезические наблюдения, позволяющие определять абсолютную величину крена, его направление, приращение крена и изменение его направления.

Периодичность наблюдений за кренами сооружений устанавливается проектной организацией (в период эксплуатации по согласованию с организацией, эксплуатирующей сооружение) в зависимости от требуемой точности определения крена, скорости протекания осадок и от состояния сооружения.

Определение крена эксплуатируемого башенного сооружения в зависимости от требуемой точности и высоты, а также местных условий может быть осуществлено одним из следующих способов [2, 3]: координат; горизонтальных углов (направлений); малых углов; вертикального проектирования; с применением дифференциальных формул; высокоточного нивелирования осадочных марок; зенитных расстояний; комбинированным; с применением клинометров; стереофотограмметрическим.

Рассмотрим более подробно способ координат. Данный способ применяется для высокоточных систематических наблюдений за кренами сооружений большой высоты и особенно эффективен для определения кренов совокупности высоких сооружений, например, большой группы труб на промышленных предприятиях. Способ координат заключается в определении в каждом цикле наблюдений прямой угловой засечкой одновременно с трех-четырех пунктов наблюдения координат центра верхнего, а в начальном цикле и координат центра нижнего сечений сооружения в принятой системе координат. В качестве деформационных марок могут быть использованы марки из светоотражающей плёнки (марки-катафоты). Координаты центров марок могут быть определены по координатам опорных знаков способами прямой угловой засечки, а также способом полярных координат.



**Рисунок 1 – Способ координат**

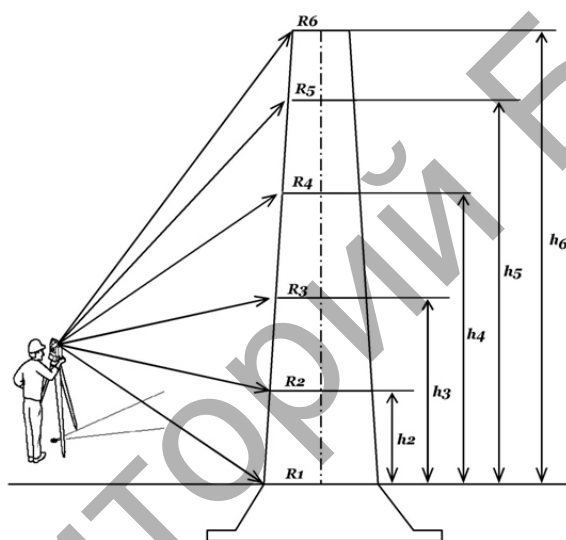
По разностям координат точек между начальным и текущим циклами наблюдений находят составляющие крена за данный промежуток времени:

$$Q_x = x_i - x_0 \quad Q_y = y_i - y_0$$

полную величину крена и его направление:

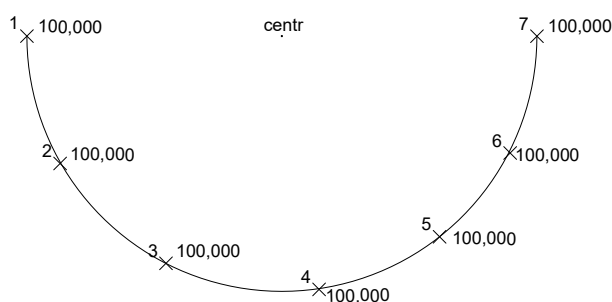
$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_Q = \frac{Q_y}{Q_x}.$$

Появление электронных тахеометров с большим радиусом безотражательных измерений расстояний (до 500 м) позволяет вычислять координаты поверхности сооружения с большой точностью и на разных сечениях (высотах), в результате чего стало возможным получать трехмерную модель поверхности сооружения. Для определения величины крена вытяжной трубы электронный тахеометр устанавливают на точке с хорошей видимостью башенного сооружения (рис. 2), определяют ориентирование прибора и плановые координаты временного пункта. Затем на каждом сечении трубы измеряют трехмерные координаты не менее шести точек поверхности сооружения



**Рисунок 2 – Определение крена башенного сооружения электронным тахеометром**

По результатам измерений по методу наименьших квадратов вычисляют координаты центра окружности в каждом сечении, величину и направление крена (рис. 3). Данный способ позволяет с одной точки стояния тахеометра оперативно выполнять натурные измерения без закладки опорных геодезических пунктов (базисов).



**Рисунок 3 – Вычисление координат центра окружности по результатам измерений**

Выполним предрасчет точности определения крена, для способа координат и для способа, основанного на применении электронных тахеометров.

Расчет необходимой точности геодезических измерений, выполняемых в каждом цикле наблюдений за креном сооружений, будем производить, исходя из требуемой точности определения крена. За предельные (допустимые) погрешности измерения крена рекомендуется принимать величины, не превышающие 0,2 строительных допусков [1]:

$$\leq 0,03 \text{ м при } H \leq 100 \text{ м};$$

$$\leq 0,04 \text{ м при } H > 100 \text{ м}.$$

За требуемую точность определения крена при расчете примем величину, равную половине предельной погрешности.

Расчет необходимой точности измерения горизонтальных углов при наблюдениях, основанных на прямой угловой засечке, можно выполнить по следующей формуле:

$$m_{\beta}'' = \frac{m_Q \rho'' \sin \gamma}{2s},$$

где  $m_{\beta}$  – необходимая средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов;

$m_Q$  – требуемая средняя квадратическая ошибка определения крена;

$\gamma$  – угол засечки;

$s$  – расстояние от пунктов наблюдения до засекаемого центра верхнего сечения сооружения в координатной плоскости.

Если принять  $m_Q = 1 \text{ см}$ , т. е. половине предельной погрешности, а  $S = 2H - 3H$ , то необходимая точность измерения горизонтальных углов, для различных значений угла засечки и высоты сооружения будет определяться величинами, приведенными в табл. 1

**Таблица 1 – Требуемая средняя квадратическая ошибка измерения углов**

$\gamma / s$	$m_{\beta}''$ при высоте $H, \text{ м}$							
	50	100	150	200	250	300	350	400
2H	10	5	3	2	2	2	1	1
30° 2,5H	8	4	3	2	2	1	1	1
(150°) 3H	7	3	2	2	1	1	1	1
2H	17	9	6	4	4	3	2	2
60° 2,5H	14	7	5	4	3	2	2	2
(120°) 3H	12	6	4	3	2	2	2	2
2H	20	10	7	5	4	3	3	2
90° 2,5H	16	8	5	4	3	3	2	2
3H	13	7	4	3	3	2	2	2

Анализируя результаты таблицы 1, можно сделать следующие выводы:

1. Для повышения точности измерений значение угла засечки должно находиться в пределах от 60 до 120° ( $60^\circ \leq \gamma \leq 120^\circ$ );

2. Исходные опорные пункты следует выбирать на расстоянии, не превышающем  $3H$ , где  $H$  – высота сооружения;

3. Для достижения требуемой точности необходимо использовать точные и высокоточные угловые приборы.

Для определения крена с применением электронного тахеометра среднюю квадратическую погрешность определения координат деформационной марки можно определить по формуле:

$$m_{x,y}^2 = m_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot S^2,$$

где  $m_\beta$  – средняя квадратическая ошибка измерения горизонтальных углов;  
 $m_s$  – средняя квадратическая погрешность определения расстояния;  
 $S$  – расстояние.

При расчетах примем:  $m_\beta = 2''$ ,  $m_s = 3$  мм (в безотражательном режиме); тогда средняя квадратическая погрешность определения координат составит  $m_{x,y} = \pm 4$  мм при расстоянии от тахеометра до точки от 50 до 350 метров. Таким образом, величина  $m_{x,y}$  практически не зависит от расстояния от тахеометра до определяемой точки и конфигурации исходных пунктов. Эта формула отражает ошибку способа определения координат марки без учёта ошибок исходных данных и центрирования. Следует учитывать, что для безотражательного режима измерений расстояний точность и дальность будет зависеть от поверхности объекта.

Так как линейная величина абсолютного крена определяется по разности координат центра сооружения, средняя квадратическая ошибка линейной величины крена по отношению к  $m_{x,y}$  увеличится по крайней мере в  $\sqrt{2}$  раз и составит 6 мм, что соответствует требованиям [1] к погрешности измерения крена сооружений с большим запасом точности.

Таким образом, метод определения крена сооружений башенного типа электронным тахеометром имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами: 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.

Необходимо выполнить экспериментальные работы по определению кренов сооружений башенного типа различной конфигурации для апробации данной методики.

#### **Список цитированных источников**

1. Геодезические работы в строительстве. Правила проведения : ТКП 45-1.03-26–2006 (02250). – Минск: Министерство строительства архитектуры Республики Беларусь, 2006. – 62 с.
2. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами. – Москва: Стройиздат, 1981. – 54 с.
3. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: моногр. / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.
4. Экспериментальные измерения крена сооружений электронным тахеометром / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, Ю. Н. Чиберкус // Наука и техника. – 2015. – № 2. – С. 42–47.
5. Определение геометрических параметров башен связи / В. В. Ялтыхов, А. А. Шаблова // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F – 2015. – № 3. – С. 183–189.