

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/03SAVN222.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Азаров, Б. Ф. Способ обнаружения грубых ошибок угловых наблюдений при техническом обследовании антенно-мачтовых сооружений / Б. Ф. Азаров, И. В. Носков // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/03SAVN222.pdf>

**For citation:**

Azarov B.F., Noskov I.V. Method of detecting gross errors of angular observations during technical examination of antenna-mast constructions. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 03SAVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/03SAVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 528.482:69.058.2

**Азаров Борис Федотович**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Заместитель заведующего кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: barn\_38\_centra@mail.ru

**Носков Игорь Владиславович**

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия  
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: noskov.56@mail.ru

## Способ обнаружения грубых ошибок угловых наблюдений при техническом обследовании антенно-мачтовых сооружений

**Аннотация.** Рассмотрены особенности использования электронных теодолитов и тахеометров при выполнении угловых наблюдений в целях контроля пространственного положения антенно-мачтовых сооружений. Отмечено, что при техническом обследовании антенно-мачтовых сооружений, в частности, вышек сотовой связи, имеющих нетиповую форму, необходимо разрабатывать специальную инструкцию по геодезическому контролю их пространственного положения. Изложено содержание геодезических измерений, выполняемых при контроле вертикальности ствола и прямолинейности поясов (сечений) антенно-мачтового сооружения. Выполнен расчет точности определения величины отклонения от прямолинейности ствола антенно-мачтового сооружения для заданной ошибки угловых измерений и расстояния от прибора до оси объекта. Предложен способ обнаружения грубых ошибок измерений при использовании упрощенной методики угловых наблюдений для контроля пространственного положения антенно-мачтовых сооружений. Приведён пример применения предложенного способа обнаружения грубых ошибок в результатах угловых наблюдений электронным тахеометром. Сделан вывод о целесообразности применения рассмотренного способа при выполнении наблюдений за кренами сооружений башенного типа способом малых углов.

**Ключевые слова:** способ; ошибка; контроль; вышка; положение; электронный теодолит; электронный тахеометр; антенно-мачтовое сооружение; вертикальность; прямолинейность

В настоящее время одной из распространенных задач прикладной геодезии является задача контроля пространственного положения вышек сотовой связи в процессе их эксплуатации. Способам решения данной задачи посвящена довольно обширная литература [1–5; 8–10].

В качестве нормативного документа, регламентирующего работы по геодезическому контролю при эксплуатации такого рода сооружений используется Инструкция<sup>1</sup>. В качестве средств измерений она предусматривает использование точных оптических теодолитов. На практике для выполнения угловых измерений при контроле пространственного положения антенно-мачтовых сооружений (АМС) часто используют электронные теодолиты и тахеометры с ошибкой измерения углов не хуже 5". Эти приборы обладают рядом преимуществ перед оптическими теодолитами. Так, в электронных приборах инструментальные погрешности (коллимация, значение места нуля вертикального круга) определяются и учитываются в результатах угловых измерений автоматически.

Кроме того, при работе с электронными приборами отсутствует ошибка отсчитывания, поскольку отсчеты по кругам выводятся на табло или заносятся в память прибора автоматически. Поэтому на практике выполнение угловых измерений при контроле пространственного положения АМС с помощью электронных приборов зачастую выполняется по упрощенной методике, когда вместо регламентированных Инструкцией<sup>1</sup> трех приемов наблюдений выполняется один или даже измерения ведутся при одном положении круга.

Очевидно, что при этом излишнее доверие к точности прибора не избавляет результаты измерений от грубых ошибок, связанных с «человеческим фактором» (ошибка наведения, ошибка при записи отсчетов с табло прибора и т. п.). В данной статье рассматривается способ обнаружения грубых ошибок измерений при использовании упрощенной методики угловых наблюдений для контроля пространственного положения АМС.

Согласно Инструкции<sup>1</sup>, геодезический контроль при эксплуатации АМС включает измерения вертикальности ствола мачты, прямолинейности угловых вертикальных элементов мачты, отклонений решетки мачты относительно проекта, осадки фундаментов опор АМС.

При этом работы по геодезическому контролю на опорах менее 100 м могут выполняться специально обученным эксплуатационным персоналом, а на опорах высотой более 100 м работы должны выполняться только инженерами-геодезистами или техниками-геодезистами Согласно Инструкции<sup>1</sup>, типовой опорой считается четырехгранная башня или мачта с гранями, расположенными симметрично относительно центра сооружения. Для нетиповых опор необходимо разрабатывать специальную инструкцию по геодезическому контролю. К нетиповым опорам можно отнести трехгранные АМС с симметрично расположенными относительно вертикальной оси секциями в виде прямоугольника или равнобедренной трапеции, а также АМС, имеющие в верхней части прямоугольные секции, а в основании — секции в виде прямоугольных или равнобедренных трапеций.

В соответствии с Инструкцией<sup>1</sup>, контроль вертикальности ствола АМС означает определение отклонений центров его сечений относительно вертикальной оси сооружения. Отклонения центров выражают в линейной мере как результирующие двух составляющих по координатным осям условной прямоугольной системы координат с началом отсчета в центре основания АМС. Составляющие отклонения по  $i$ -ому сечению вычисляются по разностям углов  $\Delta\beta_i$ , определенным минимум с двух стоянок прибора:

---

<sup>1</sup> Инструкция по эксплуатации антенных сооружений радиорелейных линий связи — М.: Минсвязи СССР, — 1981. — 29 с.

$$\Delta\beta_i = N_i^{\text{CP}} - N_{\text{исх}} \quad (i = 1, \dots, n), \quad (1)$$

где  $N_i^{\text{CP}} = 0.5(N^{\text{Л}} + N^{\text{П}})i$  — значение направления, вычисленного как среднее арифметическое из направлений на левый и правый край (пояс)  $i$ -го сечения АМС;  $N_{\text{исх}}$  — направление на центр основания АМС или на центр его нижнего сечения.

Отклонение в линейной мере получают по формуле:

$$Q_i = \sqrt{q_{i1}^2 + q_{i2}^2}, \quad (2)$$

где  $q_{ij} = \frac{\Delta\beta_{ij}}{\rho} D_j$ ;  $i$  — номер сечения;  $j$  — номер станции (стоянки прибора);  $D_j$  — расстояние от прибора до центра АМС или центра нижнего сечения;  $\rho$  — значение радиана.

Отметим, что формула (2) справедлива в том случае, если станции находятся на взаимно перпендикулярных направлениях.

Согласно Инструкции<sup>1</sup>, для типовых (четырёхгранных) АМС геометрические центры сечений определяются либо по двум, либо по четырем наружным граням ствола в местах фланцевых и болтовых соединений смежных секций, когда стоянки прибора располагаются на направлениях, примерно перпендикулярных граням АМС. В случае если АМС имеет трёхгранное строение, то при выборе станций на линиях, перпендикулярных его граням, придется учитывать разворот составляющих  $q_{ij}$  относительно прямоугольной системы координат, в которой, согласно Инструкции<sup>1</sup>, должны быть представлены исполнительные схемы вертикальности. Строго говоря, для трёхгранных АМС наблюдения вертикальности должны выполняться по всем граням. При контроле прямолинейности поясов (стволов) АМС угловые измерения выполняются по всем наружным граням независимо от формы (трех- или четырехгранные АМС). Контроль прямолинейности заключается в определении стрелы прогиба на длину выверяемого участка — секции АМС. Отклонения от прямолинейности секции выражают в линейной мере.

Составляющие отклонения по  $i$ -ому сечению вычисляются по разностям углов  $\delta\beta_i$ , определенным со всех стоянок прибора:

$$\delta\beta_i = N_i - N_1 \quad (i = 2, \dots, n), \quad (3)$$

где  $N_i$  — значение направления, полученного из угловых наблюдений на одноименный край (пояс)  $i$ -го сечения АМС (левый или правый);  $N_1$  — направление на одноименный край (пояс) нижнего сечения АМС (сечения № 1).

Прямолинейность (стрела прогиба пояса ствола АМС) вычисляется для каждого пояса АМС. В качестве прямолинейности для участка АМС можно принять соответствующее ему угловое смещение, вычисленное по формуле (3).

В линейной мере величина смещения может быть вычислена по формуле:

$$\delta q_{ij} = \frac{\delta\beta_{ij}}{\rho} D_j, \quad (4)$$

где  $i = 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, 3, 4$ ;  $i$  — номер сечения;  $j$  — номер станции (стоянки прибора);  $D_j$  — расстояние от прибора до центра АМС или центра нижнего сечения при наблюдении пояса;  $\rho$  — значение радиана.

При составлении исполнительных схем прямолинейности поясов АМС используются величины, которые находят как разности между линейными смещениями последующего и предыдущего сечения:

$$\delta_{kj} = \delta q_{i+1,j} - \delta q_{i,j} \quad (k = 1, \dots, n - 1), \quad (5)$$

Разности  $\delta_{kj}$  показывают на исполнительных схемах, а величины  $\delta q_{ij}$  заносят в Протокол измерения прямолинейности поясов. Предельные смещения от проектного положения оси ствола (отклонения от прямолинейности) законченных монтажом конструкций мачт и башен, согласно Правилам<sup>2</sup>, не должны превышать соответственно 0,0007 и 0,001 от высоты выверяемой точки над фундаментом.

Согласно Инструкции<sup>1</sup>, предельно допустимые величины отклонений от прямолинейности секций АМС башенного типа определяют по формуле:

$$\delta q_{\text{доп}}(\text{мм}) = l_{\text{сек}}(\text{мм})/750, \quad (6)$$

где  $l_{\text{сек}}$  — длина секции АМС, выраженная в мм.

Например, для типовой секции длиной 12 м допустимое смещение составит 12 мм согласно Правилам<sup>2</sup> или 16 мм в соответствии с Инструкцией<sup>1</sup>.

Рассчитаем величину ошибки определения смещения, вычисляемого по формуле (4).

Полагая, что ошибки измерения направлений, полученных из угловых наблюдений на края (пояса) сечений АМС,  $m_N = \pm 10''$ , а расстояние до центра АМС или центра нижнего сечения при наблюдении пояса  $D = 100$  м, принимая  $\rho = 2'' \cdot 10^5$ , дифференцируя формулу (4) и заменяя дифференциалы средними квадратическими ошибками (СКО), получим:

$$m_{\delta q}^2 = \left(\frac{D}{\rho}\right)^2 m_{\delta \beta}^2 + \left(\frac{\delta \beta}{\rho}\right)^2 m_D^2, \quad (7)$$

Пренебрегая вторым слагаемым в силу его малости, с учетом того, что  $m_{\delta \beta}^2 = 2m_N^2$ , окончательно получим:

$$m_{\delta q} = \sqrt{2} D m_N / \rho, \quad (8)$$

Подставив в формулу (8) числовые значения для  $D$  и  $m_N$ , получим  $m_{\delta q} \approx 7$  мм. Таким образом, удвоенная ошибка определения прямолинейности секции АМС для приведенных выше условий (заданной ошибки угловых измерений и расстояния прибора от оси АМС) практически совпадает с допустимыми величинами, приведенными в Инструкции<sup>1</sup> и Правилах<sup>2</sup>. При выполнении работ по техническому обследованию АМС работы должны вестись в соответствии с требованиями Инструкции<sup>1</sup>.

Согласно этому нормативному документу, угловые измерения выполняются на края сечений АМС точным оптическим теодолитом при двух положениях круга тремя приемами. При этом рекомендуется использовать способ угловых измерений, совпадающий со способом круговых приемов, за исключением замыкания горизонта на начальное направление в полуприемах. О точности измерений предлагается судить, во-первых, по расхождениям углов между приемами и, во-вторых, по СКО измерения углов. Однако на практике рекомендуемый в Приложении 13 Инструкции<sup>1</sup> способ прямой угловой засечки для фиксации геометрических центров сечений ствола АМС при определении его вертикальности и прямолинейности зачастую заменяется способом малых углов [6], когда расстояние от опорных пунктов до наблюдаемых точек, а также угол пересечения измеряемых направлений можно знать приближенно. Это связано с тем, что по окончании строительства АМС и при сдаче их в эксплуатацию постоянное плановое обоснование либо не создается, либо бывает утрачено. Поэтому при техническом обследовании АМС для определения вертикальности ствола и прямолинейности поясов приходится создавать временное плановое обоснование, как правило,

<sup>2</sup> СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции — М.: Минрегион России, — 2012. — 293 с.

в виде двух точек стояния прибора, закрепленных на период наблюдений (деревянными кольями, металлическими штырями, откраской и т. п.). Причем не всегда удается обеспечить соблюдение условия взаимной перпендикулярности направлений, с которых выполняются угловые измерения [7]. При использовании способа малых углов для определения вертикальности ствола АМС и прямолинейности его поясов фактически измеряют горизонтальные направления на края сечений, которые используются соответственно для определения отклонений центров сечений ствола относительно вертикальной оси сооружения и с целью выявления стрелы прогиба поясов (стволов) АМС. При ограниченном числе измерений (например, при невозможности из-за погодных условий или лимита времени выполнить полный рабочий цикл измерений), когда вместо трех приемов выполнен только один прием или измерения проводились только при одном положении круга, (например, электронным теодолитом или тахеометром), о точности результатов измерений можно судить по величинам  $\delta\gamma$  — колебаниям горизонтальных углов  $\gamma$ , найденным по разностям направлений, измеренным на правый  $N_{\text{П}}$  и левый  $N_{\text{Л}}$  края поясов одинакового сечения АМС. Для качественно выполненных измерений горизонтальные углы  $\gamma$ , измеренные между краями сечений одинаковой ширины, не должны существенно отличаться друг от друга. Допустимое расхождение таких углов следует принять равным  $\pm 20''$ , как того требует Инструкция<sup>1</sup> при контроле угловых измерений, выполненных полным рабочим циклом. Следует отметить, что такое допущение справедливо для АМС квадратного и треугольного сечения, имеющие секции с параллельными гранями. Для секций АМС в виде трапеций задача контроля по горизонтальному углу, соответствующему сечению АМС, требует использования рабочих чертежей сооружения и точного определения расстояния от точки стояния прибора на станции до центра основания АМС. В качестве иллюстрации возможности контроля измерений по разностям направлений  $N$  рассмотрим разности, полученные при одном положении круга и разности, полученные при выполнении только одного приема измерений. В таблице 1 приведены результаты угловых наблюдений при выполнении контроля эксплуатации четырехгранной башни сотовой связи высотой 60 м, выполненные одним полным приемом тахеометром Leica TCR405. Наблюдения выполнялись по 10 сечениям с расстояния 105 м. Нижнее сечение имеет трапециевидную форму, остальные сечения прямоугольной формы с постоянной шириной. Рассмотрим значения горизонтальных углов  $\gamma$ , которые вычислены по разностям направлений, измеренных на правый  $N_{\text{П}}$  и левый  $N_{\text{Л}}$  края сечений 1–9 только при одном положении круга (KL или KR), приведенные в таблице 1. Согласно данным таблицы, углы  $\gamma$ , найденные как при одном положении круга, так и при выполнении только одного приема измерений для 6, 7 и 8 сечения существенно (от 30 до 52'') отличаются от значений этих же углов по остальным сечениям.

Таблица 1

Результаты обработки угловых наблюдений на станции

Сечение	Отметка, (м)	Край сечения АМС	Круг	Отсчеты $N^I, N^{II}$ по горизонтальному кругу			Средние направления на края сечения, $N_{\text{ср}}$			$\gamma$ для круга	Угол $\gamma = N^I - N^{II}$		$\delta\gamma = \gamma - \gamma_{\text{ср}}$
				0	'	''	0	'	''		'	''	
0	0,0	левый	KL	0	0	0	0	0	2	KL	14	31	
			KR	180	0	5				KR	14	36	
		правый	KL	0	14	31	0	14	36		<b>14</b>	<b>34</b>	
			KR	180	14	41							
1	6,0	левый	KL	0	1	1	0	1	4	KL	11	37	+20
			KR	180	1	8				KR	11	42	+23
		правый	KL	0	12	38	0	12	44		<b>11</b>	<b>40</b>	+22
			KR	180	12	50							

Сечение	Отметка, (м)	Край сечения АМС	Круг	Отсчеты N <sup>i</sup> , N <sup>n</sup> по горизонтальному кругу			Средние направления на края сечения, N <sub>ср</sub>			Угол $\gamma = N^i - N^n$	$\delta\gamma = \gamma - \gamma_{ср}$		
				0	'	"	0	'	"			γ для круга	'
2	12,7	левый	KL	0	0	50	0	0	54	KL	11	29	+12
			KR	180	0	58				KR	11	34	+15
		правый	KL	0	12	19	0	12	25		<b>11</b>	<b>31</b>	+13
			KR	180	12	31							
3	19,5	левый	KL	0	0	44	0	0	52	KL	11	24	+7
			KR	180	0	59				KR	11	23	+4
		правый	KL	0	12	8	0	12	10		<b>11</b>	<b>24</b>	+6
			KR	180	12	22							
4	26,5	левый	KL	0	0	5	0	0	11	KL	11	2	-15
			KR	180	0	17				KR	11	3	-16
		правый	KL	0	11	7	0	11	14		<b>11</b>	<b>2</b>	-16
			KR	180	11	20							
5	33,0	левый	KL	359	59	6	359	59	12	KL	11	4	-13
			KR	179	59	18				KR	11	7	-12
		правый	KL	0	10	10	0	10	18		<b>11</b>	<b>6</b>	-12
			KR	180	10	25							
6	39,7	левый	KL	359	59	52	0	0	0	KL	10	47	+30
			KR	180	0	8				KR	10	45	+34
		правый	KL	0	10	39	0	10	46		<b>10</b>	<b>46</b>	+32
			KR	180	10	53							
7	46,5	левый	KL	359	59	48	359	59	54	KL	10	27	+50
			KR	180	0	0				KR	10	30	+49
		правый	KL	0	10	15	0	10	22		<b>10</b>	<b>28</b>	+50
			KR	180	10	30							
8	53,2	левый	KL	359	59	34	359	59	41	KL	10	27	+50
			KR	179	59	48				KR	10	27	+52
		правый	KL	0	10	1	0	10	8		<b>10</b>	<b>27</b>	+51
			KR	180	10	15							
9	56,6	левый	KL	359	59	15	359	59	22	KL	11	7	-10
			KR	179	59	28				KR	11	7	-12
		правый	KL	0	10	22	0	10	29		<b>11</b>	<b>7</b>	-11
			KR	180	10	35							
<b>γ ср:</b>									KL	11	17		
<b>γ = (KL+KR)/2</b>									KR	11	19		
										11	18		

Составлено/разработано авторами

Для сечений 1–5 и 9 отклонения углов  $\gamma$  от среднего, вычисленные как по измерениям при одном положении круга, так и по измерениям только одним приемом, лежат в диапазоне от -16" до +23".

Следовательно, результаты измерений по сечениям 6–8 не могут быть взяты в обработку для вычисления количественных характеристик пространственного положения АМС (вертикальности и прямолинейности его ствола).

В заключение следует отметить, что рассмотренный выше способ обнаружения грубых ошибок может быть также использован при выполнении угловых наблюдений за кренами дымовых труб, градирен, водонапорных башен и т. п. способом малых углов.

Для этого достаточно непосредственно на точке стояния прибора сразу по завершении полуприема или полного приема измерений выполнить вычисление углов  $\gamma$  и сравнить их величину с допустимой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шеховцов, Г.А. Контроль пространственного положения и формы высоких сооружений башенного типа [Текст]: монография / Г.А. Шеховцов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т — Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. — 214 с.
2. Шеховцов, Г.А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: моногр. / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова. — Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. — 156 с.
3. Шеховцов, Г.А. Геодезические работы при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений: монография. Изд. 2, перераб. и доп. / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова — Н. Новгород: ННГАСУ, 2014. — 177 с.
4. Нестеренок, М.С. Особенности геодезического контроля вертикальности антенных башен радиорелейной и сотовой связи / М.С. Нестеренок // Вестник Белорусского национального технического университета: научно-технический журнал. — 2010. — № 4. — С. 16–19.
5. Желтко, Ч.Н. Измерения геометрии высоких стальных трёхгранных сооружений / Ч.Н. Желтко, Гура Д.А., Аветисян Г.Г. // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2010. — № 6. — С. 13–19.
6. Зайцев А.К., Марфенко С.В., Михелев Д.Ш., Васютинский И.Ю., Ключин Е.Б., Иванов М.В., Ямбаев Х.К. Геодезические методы исследования деформаций сооружений — М.: Недра, — 1991. — 271 с.
7. Азаров Б.Ф., Мурзинцев П.П., О способах получения составляющих вектора крена при техническом обследовании антенно-мачтовых сооружений // Геодезия и картография. — 2016. — № 9. — С. 13–17. DOI: 10.22389/0016-7126-2016-915-9-13-172.
8. Schwarz Willfried Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz. *Flachenmanag. Und Bodenordn.* — 2002. 64, — № 2, 87–97. (Шварц Виллфрид Современные методы измерения в инженерной геодезии и их практическое использование. *Flachenmanag. и Bodenordn.* — 2002. 64, — № 2, 87–97).
9. Fabiankowitsch Johannes, Kahmen Heribert, Matt Phillip. Evaluation of vibrational spectrum of high slim towers with wind electrical turbines // *VGI: Osterr. Z. Vermess. und Geoinf.* — 2003. 91, № 1. — С. 77–84. (Йоханнес Фабианкович, Камен Хериберт, Мэтт Филлип. Оценка спектра колебаний высоких тонких башен с ветроэлектрическими турбинами // *VGI: Osterr. Z. Vermess. унд Геоинф.* — 2003. 91, № 1. — С. 77–84).
10. Bryś Henryk. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen. *Allg. Vermess.-Nachr.* 2000. 107. — № 11–12, 391–396. (Брайс Генрик. Измерительный метод определения геометрии деформации мостовых кранов и подкрановых путей. *Allg. Vermess.-Nachr.* 2000. 107. — № 11–12, 391–396).

**Azarov Boris Fedotovitch**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
E-mail: barn\_38\_centra@mail.ru

**Noskov Igor Vladislavovich**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia  
E-mail: noskov.56@mail.ru

## **Method of detecting gross errors of angular observations during technical examination of antenna-mast constructions**

**Abstract.** Peculiarities of using electronic theodolites and tacheometers in performing angular observations in order to control spatial position of antenna-mast constructions are considered. It is noted that during the technical examination of antenna-mast constructions, in particular, cellular towers with atypical shape, it is necessary to develop a special instruction on geodetic control of their spatial position. The content of geodetic measurements performed during control of the shaft verticality and straightness of belts (sections) of the antenna-mast constructions is described. Accuracy of determination of value of deviation from rectilinearity of shaft of antenna-mast construction for given error of angular measurements and distance from instrument to axis of object is calculated. Disclosed is a method of detecting gross measurement errors using a simplified method of angular observations for controlling spatial position of antenna-mast constructions. An example of using the proposed method of detecting gross errors in the results of angular observations by an electronic tacheometer is given. It was concluded that the considered method should be used when observing the heels of tower-type constructions by the method of small angles.

**Keywords:** method; error; control; tower; position; electronic theodolite; electronic tacheometer; antenna-mast structure; verticality; straightness