

СПОСОБЫ, УМЕНЬШАЮЩИЕ ТРУДОЕМКОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Предлагаются способы и приемы геодезических измерений, уменьшающие трудоемкость исполнительной съемки. Приводятся необходимые расчетные формулы и их обоснования, оценка точности геодезических измерений. Экспериментально определена среднеквадратическая погрешность измерения дуги теодолитом Т2.

Определение кадастровой стоимости земельных участков, особенно в городах, требует оценки недвижимости, например зданий и сооружений. Оценка недвижимости производится по результатам обследования зданий и сооружений и производства исполнительной съемки.

Исполнительная съемка является достаточно трудоемким процессом геодезических работ, требует значительных затрат времени и средств.

Поиск способов и приемов геодезических работ, уменьшающих трудоемкость исполнительной съемки, проведен на основе анализа съемки каркаса 8-этажного экспериментального жилого дома.

Анализ показал, что основные затраты времени и средств требовались на передачу условных координат со вспомогательного базиса на контур здания и при производстве бокового нивелирования с целью определения отклонения от вертикали.

Для сокращения затрат времени и средств при исполнительной съемке можно сделать следующие предложения:

1. Определять условные координаты углов здания на исходном горизонте непосредственно без вспомогательного базиса, измеряя углы способом трилатерации, используя предложение профессора Лебедева Н.Н. (рисунок 1).

Если измерить три стороны треугольника, образованного, например, при вершине 1 (с одинаковыми сторонами a и стороной b), то, применив теорему косинусов, можно найти значение угла β_1 . Применительно к рисунку 1 теорема косинусов запишется так:

$$b^2 = a^2 + a^2 - 2 \cdot a \cdot a \cdot \cos \beta_1.$$

Откуда

$$\cos \beta_1 = \frac{(2a^2 - b^2)}{2a^2}, \quad \beta_1 = \arccos \left(\frac{2a^2 - b^2}{2a^2} \right).$$

Основным вопросом при определении угла способом трилатерации является вопрос обеспечения необходимой точности измерения угла β и соответствующей ей точности линейных измерений сторон треугольника. Соотношение среднеквадратических погрешностей линейных измерений и прямого угла принимаем из [1]. Оно выражается формулой:

$$m_\beta = 2,9 \cdot \rho \cdot \frac{m_1}{l}, \quad (1)$$

где m_β – среднеквадратическая погрешность прямого угла,

ρ – радиан, равный 206265",

m_1 – абсолютная среднеквадратическая погрешность линейного измерения,

$\frac{m_1}{l}$ – относительная среднеквадратическая погрешность линейного измерения. Для нашего случая: $m_\beta = 2,9 \cdot \rho \cdot \frac{m_a}{a}$.

Направление сторон a можно создать с помощью проволоки, натянутой по периметру здания с применением струбцин.

Наиболее распространенным является шаг колонн, равный 6,0 м. Приняв за требуемое значение $m_\beta = 30''$, значение m_a определим так:

$$m_a = \frac{30'' \cdot 6000}{2,9 \cdot 206265''} = 0,3 \text{ мм}$$

То есть измерение сторон a и b нужно проводить компарированной рулеткой с оценкой их длины с точностью 0,3 мм. В [1] в этих случаях рекомендуется применять лупу.

Предложенный способ позволяет уменьшить трудоемкость технологии исполнительной съемки.

2. Определение отклонений осей колонн от вертикали можно производить без бокового нивелирования, путем угловых измерений, без потери точности, которая определяется точностью взятия отсчета по рейке при боковом нивелировании, равной 2 мм [2].

В случае, когда теодолит можно установить в створе колонн, схема измерений изображена на рисунке 2.

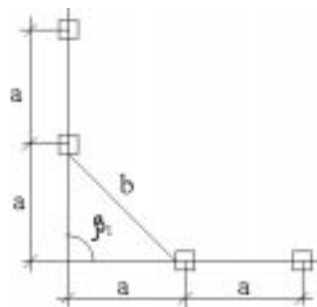


Рисунок 1. Схема определения углов при вершине 1 контура здания способом трилатерации

Направление створа, перпендикулярное фасаду, нетрудно осуществить по методу египетского треугольника с помощью рулетки.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma &= \frac{d}{L}; \gamma = \operatorname{arctg} \frac{d}{L}; \\ k &= \chi \cdot L; \Delta = d - k; \\ \Delta &= d - L \cdot \operatorname{arctg} \frac{d}{L} \end{aligned} \quad (2)$$

где Δ – точность измерения дуги

При анализе (2) выяснено, что даже при $L=1\text{м}$ Δ не превышает 2 мм.

Второй случай: теодолит не удастся поставить в створе колонн. Можно доказать, что и в этом случае разница между отклонением d и дугой k будет мала вне зависимости от некоторого определенного значения s . Все обозначения приведены на рисунке 3.

$$\begin{aligned} \chi &= \alpha - \varphi = \operatorname{arctg} \frac{s}{L} - \operatorname{arctg} \frac{s-d}{L} = \\ &= \operatorname{arctg} \frac{\frac{s}{L} - \frac{s-d}{L}}{1 + \frac{s}{L} \cdot \frac{s-d}{L}} = \operatorname{arctg} \frac{L \cdot d}{L^2 - s \cdot d + s^2} \\ k &= r \cdot \chi = r \cdot \operatorname{arctg} \frac{L \cdot d}{L^2 - s \cdot d + s^2} \end{aligned}$$

$$\Delta_c = d - k = d - \sqrt{(s-d)^2 + L^2} \cdot \operatorname{arctg} \frac{L \cdot d}{L^2 - s \cdot d + s^2} \quad (3)$$

Из выражения (3) видно, что теоретическая разница между дугой k и отклонением d зависит от 3-х параметров:

- значения отклонения d ;
- расстояния между створами s ;
- отдаления от колонны L .

Исходным условием принимается следующее: разница между дугой k и отклонением d не должна превышать 2 мм, что соответствует точности взятия отсчета по нивелирной рейке, т. е. $d - k \leq 2$ мм. Также необходимо учесть погрешность угловых измерений и измерения расстояния, поэтому в итоге, с учетом вышесказанного, получаем:

$$2\text{мм} \geq \Delta = \Delta_c + \Delta_{\text{и}}, \quad (4)$$

где Δ_c – погрешность, которая возникает из-за того, что способ предполагает замену линейного расстояния дугой,

$\Delta_{\text{и}}$ – погрешность опыта, которая возникает вследствие неточности измерений.

Сначала найдем Δ_c , для этого произведем анализ функции $\Delta_c(s, d, L)$ в частных производных. Для производной по d получаем следующее:

$$\sqrt{(s-d)^2 + L^2} - L + \operatorname{arctg} \left[L \cdot \frac{d}{L^2 - s \cdot d + s^2} \right] \cdot (s-d) > 0$$

Полученное неравенство говорит о том, что в рассматриваемой области ($s > d > 0, L > 0$) функция $\Delta_c(s, d, L)$ не имеет экстремума по переменной d и возрастает с увеличением переменной d .

Аналогичный анализ поведения функции $\Delta_c(s, d, L)$ при изменении переменных s и L с помощью частных производных по s и L дает схожие результаты. В рассматриваемой области ($s > d > 0, L > 0$) функция $\Delta_c(s, d, L)$ не имеет экстремумов

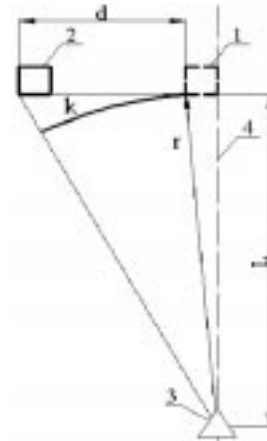


Рисунок 2. Схема измерений отклонения d колонны от вертикали через угол γ при установке теодолита в створе колонн: k – измеряемая дуга; d – истинное отклонение колонны; L – отдаление теодолита от колонны; 1 – проектное положение низа колонны; 2 – отклоненная колонна i -го этажа; 3 – место установки теодолита; 4 – створ по низу колонн.

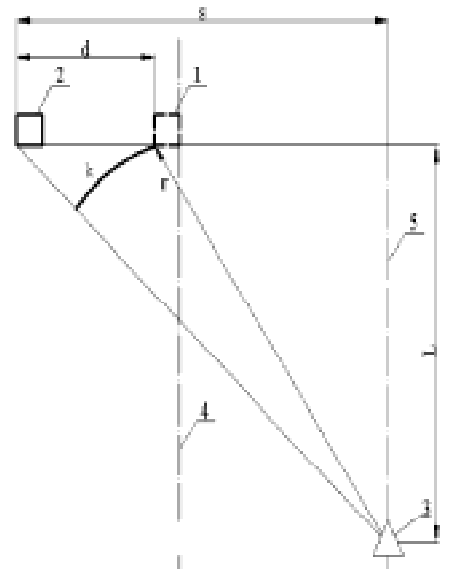


Рисунок 3. Схема определения отклонения оси колонны от вертикали при установке теодолита, который отдален от створа колонн на некоторую величину s . k – измеряемая дуга; d – истинное отклонение колонны; s – расстояние между створами 1-1 и 1'-1'; L – отдаление теодолита от колонны; 1 – проектное положение низа колонны; 2 – отклоненная колонна i -го этажа; 3 – место установки теодолита; 4 – створ по низу колонн; 5 – некоторый произвольный створ 1'-1'

по s и L . Она возрастает с увеличением переменной s и уменьшается с увеличением значения переменной L . На рисунке 4 показана часть поверхности функции $\Delta_c(s, d, L)$ при условии, что $d = 101$ мм, для $d < 101$ мм функция Δ_c будет иметь меньшие значения.

Итак, зависимость Δ_c от s , d и L , как показал анализ в частных производных, носит следующий характер: при возрастании d и s значение функции $\Delta_c(s, d, L)$ увеличивается, а при увеличении L значение функции $\Delta_c(s, d, L)$ уменьшается. Допустимые параметры установки теодолита можно определять, варьируя величины L и s .

Суммарную погрешность Δ можно рассматривать как сумму полученной теоретической погрешности Δ_c и погрешности измерения дуги $\Delta_{\text{и}}$ (которая определяется погрешностью измерения угла теодолитом). Приняв погрешность теодолита по условию (4), можно заключить, что марка теодолита (его среднеквадратическая погреш-

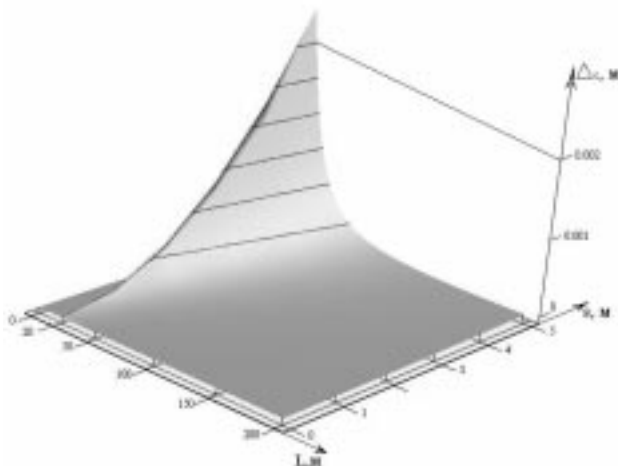


Рисунок 4. Поверхность функции $\Delta_c(s, d, L)$ при условии, что $d = 101$ мм

Таблица 1. Определение необходимой марки теодолита

Этажность	Отдаление от колонны L , м	Нестворность s (расстояние от створа колонн), м	Максимально допустимая средняя квадратическая погрешность теодолита Δ	Марка теодолита
1-4	25	1	16"	T-15
		3	10"	T-10
		4	6"	T-5
5	30	1	13"	T-10
		3	10"	T-10
		5	4"	T-2
8	48	1	8"	T-5
		4	7"	T-5
		9	1"	T-1
9	54	1	7"	T-5
		5	6"	T-5
		10	1"	T-1
16	96	1	4"	T-2
		8	3"	T-2
		17	1"	T-1

Список использованной литературы:

1. Лебедев Н.Н. Курс инженерной геодезии М.: «Недра», 1974. 360 с.
2. Шилов П.И. Геодезия. М.: «Гостехиздат», 1963. 372 с.
3. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Математические методы обработки геодезических измерений М.: «Недра», 1976. 368 с.

ность $\Delta\chi$) определяется формулой (5) и для каждого конкретного значения s и L может назначаться по таблице 1.

$$\Delta = d - \sqrt{(s-d)^2 + L^2} \cdot \arctg \frac{L \cdot d}{L^2 - s \cdot d + s^2} + \sqrt{(s-d)^2 + L^2} \cdot \Delta\chi$$

$$\Delta \leq 2 \text{ мм}$$

$$\Delta\chi = \arctg \frac{L \cdot d}{L^2 - s \cdot d + s^2} - \frac{d-2}{\sqrt{(s-d)^2 + L^2}}$$

Было выяснено, что до высоты 8-го этажа отклонение визирной оси от вертикали не превышает 2 мм при применении теодолита с уровнем 16" (например Т-1).

В связи со специфичностью цели наведения (ребро колонны) была определена среднеквадратическая погрешность измерения дуги теодолитом для сравнения ее с точностью отсчета по нивелирной рейке, равной 2 мм. Для экспериментального определения среднеквадратической погрешности отклонения колонны от вертикали через угловые измерения, т. е. через длину дуги, измерение угла производилось теодолитом Т2 при благоприятных условиях и четкой видимости концов дуги. Наблюдатель имел достаточные навыки и опыт работы с теодолитом Т2. Руководствуясь [3], ряд измерений включал 26 отдельных измерений.

Результаты выполненных наблюдений в статье не приводятся. Расчеты показали, что значения суммы квадратов погрешностей $|v^2|$ составляет 96,52.

По полученным данным по формуле Бесселя получаем среднеквадратическую погрешность отдельного измерения:

$$n=26; m = \sqrt{\frac{|v^2|}{n-1}} = \sqrt{\frac{96,52}{25}} = 1,96$$

Среднеквадратическая погрешность арифметической середины $M = \frac{m}{\sqrt{n}} = 0,38$.

Расчеты показали, что среднеквадратическая погрешность определения отклонения d через дугу k примерно соответствует точности взятия отсчета по рейке.

Проведенные подсчеты затрат времени на технологические операции показали, что трудоемкость исполнительной съемки по предложенной методике в 1,5 раза меньше применяемой в настоящее время на практике.