

Г. А. ШЕХОВЦОВ

# О ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

Наиболее распространенным способом геодезических наблюдений за деформациями сооружений является геометрическое нивелирование. С его помощью периодически определяются высотные отметки осадочных марок, размещенных на сооружении. По результатам наблюдений могут быть получены такие данные, как осадка, крен, прогиб (перегиб), скорость протекания осадки, модуль деформации и др. Достоверность этих данных зависит от точности определения отметок осадочных марок. Существуют различные мнения на этот счет.

Так, в [7] рекомендуется измерять осадки фундаментов сооружений, построенных на скальном основании, нивелированием первого класса, второго класса — на сжимаемых грунтах, третьего класса — на насыпных, просадочных и вечномерзлых грунтах. В [6] указывается, что точность определения осадок должна быть  $\pm 1—2$  мм. П. И. Брайт [1] считает точность  $\pm 1$  мм достаточной для практических целей измерений осадок сооружений. И. Ф. Болгов [2] утверждает, что ошибка определения осадок не должна превышать половины скорости осадки и наблюдения в период эксплуатации сооружений следует выполнять нивелированием третьего класса, а в период строительства объектов — четвертого класса. А. Н. Гридин [3] отмечает, что осадки сооружений должны

определяться с допустимой ошибкой не более  $\pm 1$ — $2$  мм. В ряде других работ говорится, что ошибка определения отметок осадочных марок не должна превышать  $\pm 2$  мм [9] или ошибка определения высот точек сооружения не должна превышать  $\pm 1$  мм [10]. В отдельных случаях эта ошибка должна быть не более  $\pm 0,1$  мм и даже  $\pm 0,01$  мм [1].

Считаем правильным в каждом конкретном случае указать наименьшие величины тех или иных видов деформаций, которые в результате наблюдений необходимо фиксировать с заданной степенью достоверности. Исходя из этого, следует обосновывать требования к необходимой точности определения отметок осадочных марок. Установление таких наименьших величин отдельных видов деформаций представляет самостоятельную задачу и в данной статье не рассматривается.

Отметим, что в практике геодезическо-маркшейдерских работ за допустимую ошибку измерения какой-либо величины принимается  $tm$ , где  $m$  — средняя квадратическая ошибка измерения данной величины, а  $t$  — нормированная ошибка (изменяется от 1,65 до 3,0). Кроме того, в дальнейшем будем говорить о минимальной величине деформаций, которая фиксируется в результате наблюдений. Причем известно, если значение этой величины равно или больше  $tm$ , то вероятность ее определения будет не ниже вероятности, соответствующей заданному значению  $t$ . С учетом этого предлагается методика обоснования необходимой точности определения отметок осадочных марок в зависимости от требуемой достоверности получения данных об осадках и скорости их протекания, крене, прогибе (перегибе) сооружений и модуле деформации. Под точностью определения отметки понимается ее средняя квадратическая ошибка.

**Осадка сооружений.** Предположим, в исходном положении осадочная марка имеет высотную отметку  $H_1$ . В результате осадки марка переместилась на величину  $s$  и заняла положение с отметкой  $H_2$ . Величина осадки будет  $s = H_1 - H_2$ . При равноточном определении отметок марки средняя квадратическая ошибка осадки

$$m_s = m_H \sqrt{2},$$

где  $m_H$  — средняя квадратическая ошибка определения отметки осадочной марки.

Приравняем минимальные величины осадок марок к  $tm_s$ , то есть,  $s_{\min} = tm_s = t \sqrt{2} m_H$ , отсюда найдем

$$m_H = \frac{s_{\min}}{t \sqrt{2}}.$$

Следовательно, для получения с заданной вероятностью данных об осадках сооружений необходимо, чтобы средняя квадратическая ошибка определения отметок осадочных марок не превышала  $\frac{2}{t \sqrt{2}}$  минимальной величины осадок.

Для сооружений, как известно, наиболее опасны неравномерные осадки. Так, если  $s_1 = H_1 - H_2$  — осадка одной марки, а  $s_2 = H'_1 - H'_2$  — осадка другой (за одинаковый период времени), то неравномерность осадок  $s_1 - s_2 = \Delta$ . Средняя квадратическая ошибка  $m_\Delta$  определения неравномерности осадок при равноточном определении отметок осадочных марок равна  $2m_H$ . Приравняем  $\Delta_{\min} = tm_\Delta$  и найдем.

$$m_H = \frac{\Delta_{\min}}{2t}.$$

Таким образом, для получения с заданной вероятностью данных о неравномерности осадок необходимо, чтобы средняя квадратическая

ошибка определения отметок осадочных марок не превышала  $\frac{1}{2t}$  минимальной величины неравномерности.

Крен сооружений. Крен возникает от неравномерности осадок фундамента, в результате чего сооружение наклоняется в одну сторону. Он характеризуется величиной  $k$  относительного крена

$$k = \frac{\Delta}{L},$$

где  $\Delta$  — неравномерность осадок крайних марок по оси сооружения;  $L$  — расстояние между этими марками.

Средняя квадратическая ошибка определения величины относительного крена при условии, что  $L$  измерено безошибочно,  $m_k = \frac{m_\Delta}{L}$ . Приравняв  $k_{\min} = tm_k$ , получим  $m_\Delta = \frac{L}{t} k_{\min}$ , но, поскольку  $m_\Delta = 2m_H$ , следовательно

$$m_H = \frac{L}{2t} k_{\min}.$$

Таким образом, для получения с заданной вероятностью данных о крене сооружения необходимо, чтобы средняя квадратическая ошибка определения отметок осадочных марок не превышала  $\frac{L}{2t}$  минимальной величины крена.

Например, К. Е. Егоров [4] считает, что если величина крена не превышает 0,001, то прочность и устойчивость несущих конструкций абсолютно жестких и относительно жестких типов сооружений не нарушается, и они эксплуатируются нормально. Примем  $k_{\min} = 0,001$ , тогда при  $L = 5$  м и  $t = 2,0$  (чему соответствует вероятность 0,95) получим необходимую точность определения отметок осадочных марок  $\pm 1,25$  мм.

Прогиб (перегиб) сооружений. Он возникает в результате неравномерности осадок фундамента, отчего сооружение целиком или в какой-либо части изгибаются выпуклостью вниз или вверх. Эта выпуклость характеризуется величиной  $f$  относительного прогиба (перегиба)

$$f = \frac{2s_2 - (s_1 + s_3)}{2L},$$

где  $s_1$  и  $s_3$  — осадки крайних марок рассматриваемого участка прямой линии;  $s_2$  — осадка средней марки участка;  $L$  — расстояние между крайними марками.

Считая, что осадки марок определены равноточно, а расстояние между ними измерено безошибочно, найдем  $m_f$  — среднюю квадратическую ошибку прогиба (перегиба) сооружения

$$m_f = \frac{m_s}{L} \sqrt{\frac{3}{2}}.$$

Приравняем  $f_{\min} = tm_f$ , тогда с учетом, что  $m_s = m_H \sqrt{2}$ , получим

$$m_H = \frac{L}{t \sqrt{3}} f_{\min}.$$

Следовательно, для получения с заданной вероятностью данных о прогибе (перегибе) сооружения необходимо, чтобы средняя квадратическая ошибка определения отметок осадочных марок не превышала  $\frac{L}{t \sqrt{3}}$  минимальной величины прогиба (перегиба).

**Скорость протекания осадки.** Известно, что за строительный период протекает около 50% осадки сооружений на глинистых грунтах и 80% на песчаных грунтах [7]. Причем заметных деформаций сооружения не будет, если скорость изменения напряжений в элементах его конструкций равна или больше скорости развития осадки фундамента [5]. Поэтому, правильное представление о состоянии сооружения можно получить, зная скорость развития осадки его фундамента во времени.

Скорость осадки определяется по формуле  $v = \frac{s}{T}$ ,

где  $s$  — средняя осадка сооружения за период наблюдений  $T$ .

Приняв  $T$  безошибочным, найдем среднюю квадратическую ошибку  $m_v$  определения скорости осадки  $m_v = \frac{m_s}{T}$ . Если  $v_{\min} = t m_v$ , то, учитывая,

что  $m_s = m_H \sqrt{2}$ , имеем

$$m_H = \frac{T}{t \sqrt{2}} V_{\min}.$$

Следовательно, для получения с заданной вероятностью данных о скорости протекания осадки сооружения необходимо, чтобы средняя квадратическая ошибка определения отметок осадочных марок не превышала  $\frac{T}{t \sqrt{2}}$  минимальной величины этой скорости.

П. И. Брайт [1] считает, что период стабилизации положения крупных гражданских и промышленных сооружений наступает, когда скорость осадки не превышает 1—2 мм/год. Чтобы с вероятностью например, 0,95 ( $t=2,0$ ) судить о наступлении такого периода, следует отметить осадочных марок определять со средней квадратической ошибкой  $\pm 0,35$ — $0,71$  мм (при наблюдениях не чаще одного раза в год).

Следует отметить, что получаемые от строителей допуски для определенных видов деформации должны быть однозначными. В противном случае возникает неопределенность в отношении выбора необходимой точности геодезических наблюдений.

**Модуль деформации.** Модуль деформации играет важную роль при расчете осадок фундаментов сооружений. Числовые значения его определяются в основном путем компрессионных испытаний образцов грунта. При этом возможны большие погрешности при определении модуля, вследствие чего рассчитанные осадки в 1,5—2 раза, а в отдельных случаях и более, превышают фактические [8]. Целесообразно действительные модули деформации грунтов уточнять на основе фактических замеров осадок сооружений. Такое уточнение можно производить следующим образом.

Предположим, что осадка в расчетном методе есть функция от модуля  $E$  деформации, размеров сооружения в плане  $a$  и  $b$ , величины нагрузки  $p$  на основание

$$s = F_1(E, a, b, p).$$

В свою очередь можно представить

$$E = F_2(s, a, b, p).$$

Если принять значения  $a$ ,  $b$ , и  $p$  безошибочными, то средняя квадратическая ошибка  $m_E$  определения модуля деформации будет

$$m_E = \frac{\partial F_2}{\partial s} m_s.$$

При  $m_s = m_H \sqrt{2}$  следует, что

$$m_H = \frac{m_E}{\sqrt{2} \left( \frac{\partial F_2}{\partial s} \right)},$$

то есть можно установить, с какой точностью следует определять отметки осадочных марок, чтобы ошибка определения  $E$  по этим данным не превысила заданной величины  $m_E$ .

В таблице приведены соотношения между средней квадратической ошибкой определения отметок осадочных марок и наименьшими значениями осадок и деформаций сооружений.

**Соотношения между  $m_H$  и минимальными значениями деформаций для различных  $t$**

$t$	Вероятность	$m_H$				
		$s_{\min}$	$\Delta_{\min}$	$Lk_{\min}$	$Lf_{\min}$	$Tv_{\min}$
1,6	0,890	0,442	0,312	0,312	0,361	0,442
2,0	0,955	0,353	0,250	0,250	0,289	0,353
2,5	0,988	0,282	0,200	0,200	0,231	0,282
3,0	0,997	0,235	0,167	0,167	0,192	0,235

Из таблицы видно, что если, например, в результате наблюдений требуется определять с вероятностью 0,988 осадки и деформации сооружений, то в этом случае  $m_H$  должна быть не более  $0,282s_{\min}$ ,  $0,200\Delta_{\min}$ ,  $0,200Lk_{\min}$ ,  $0,231Lf_{\min}$  и  $0,282Tv_{\min}$ . За окончательное значение  $m_H$  следует принимать ее наименьшее значение, полученное по приведенным формулам.

По предлагаемой методике можно установить необходимую точность определения отметок осадочных марок в зависимости от требуемой вероятности получения данных, характеризующих деформации сооружений. Зная  $m_H$ , нетрудно выбрать соответствующую методику геодезических наблюдений, обеспечивающую заданную точность.

В заключение следует подчеркнуть, что значения, приведенные в таблице 11 СНиПа II-Б 1.62, нельзя принимать за рассматриваемые в данной статье минимальные величины деформаций. Здесь необходимо учитывать, за какой период времени сооружение претерпевает отдельные деформации и какова периодичность наблюдений за отметками осадочных марок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брайт П. И. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. М., «Недра», 1965.
2. Болгов И. Ф., Чепулович В. Р. Геодезические измерения деформаций сооружений. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1965, вып. 3.
3. Гридчин А. Н. Прогнозирование затухающих осадок инженерных сооружений по результатам геодезических наблюдений. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1970, вып. 1.
4. Егоров К. Е. К вопросу о допускаемых осадках фундаментов сооружений. — «Тр. научн.-иссл. института оснований и фундаментов», 1952, № 18.
5. Жуков В. Ф. О допустимых осадках фундаментов сооружений. — «Строительная промышленность», 1955, № 2.
6. Методические указания по наблюдениям за осадками фундаментов, деформациями конструкций зданий и сооружений и режимов грунтовых вод на тепловых электростанциях. М., ОРГРЭС, 1973.

7. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений. М., 1967.
8. Сокольский М. М. Деформации гидротехнических сооружений, их природа и методы расчета. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1958, вып. 4.
9. Чалюк Т. Н. О точности высотного обоснования на строительной площадке. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1964, вып. 1.
10. Черников В. Ф. Опыт сравнения различных методов нивелирования при исследовании деформаций агрегатов. — «Тр. ЦНИИГАиК», 1963, т. 17.

Работа поступила 28 мая 1974 года. Рекомендована кафедрой городского строительства Горьковского инженерно-строительного института.

---