

УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ, СИЛОВЫХ И УСАДОЧНЫХ ПОПРАВОК ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВКАХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Канд. техн. наук, проф. НЕСТЕРЕНКО М. С.¹⁾, инж. ВЕКСИН В. Н.²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾УП «Геокарт», Минск

При геодезическом обеспечении строительства учет собственных вертикальных деформаций возводимых зданий не предусмотрен нормативным документом ТКП 45-03.26–2006 [1]. Но современные повышенные требования к геометрической точности строительства определяют необходимость уточнений и дополнений названного ТКП (или развивающего его документа) в части повышения точности передачи строительных отметок на монтажные горизонты. Соответственно В. Н. Вексин показал [2], что в процессе строительства объектов высотой более 50 м их собственные силовые, температурные и усадочные вертикальные деформации весьма значительны. Например, монолитный каркас одного из зданий за пять месяцев с момента устройства перекрытия на строительной отметке +81,8 м претерпел вертикальное перемещение относительно фундамента до –40 мм. Очевидно, что такие деформации следует учитывать в виде соответствующих поправок в проектные отметки монтажного горизонта.

В статье рассматривается теоретическое обоснование расчета указанных поправок. В расчетах авторов принята модель высотного здания в виде каркаса с несущими колоннами. Рассматриваемые поправки подлежат уточнению для конкретных типовых объектов на основе того, что фактическая высота монтажного горизонта отклоняется от проектного значения вследствие изменений температуры конструкций, их деформаций от воздействия силовых факторов (собственный вес и нагрузки), усадки бетона и его ползучести под нагрузкой.

При возведении гражданских зданий в ТКП 45-03.26–2006 (приложение Н) рекомендуются следующие значения средних квадратических погрешностей m_H определения отме-

ток на монтажном горизонте относительно исходного горизонта (расположенного, как правило, вблизи нулевой отметки):

$$\left. \begin{aligned} m_H &\leq \pm 3 \text{ мм} - \text{при высоте } H \text{ до } 15 \text{ м;} \\ m_H &\leq \pm 4 \text{ мм} - \text{при } H \text{ свыше } 15 \text{ до } 60 \text{ м;} \\ m_H &\leq \pm 5 \text{ мм} - \text{при } H \text{ свыше } 60 \text{ до } 100 \text{ м;} \\ m_H &\leq \pm 6 \text{ мм} - \text{при } H \text{ свыше } 100 \text{ до } 120 \text{ м.} \end{aligned} \right\} (1)$$

Основываясь на цитированных средних квадратических значениях m_H , выбираем предельно допустимые величины рассматриваемых погрешностей по вероятности 0,95 равными $m_{H\text{доп}} = 2m_H$. Обобщенная формула расчета допустимой погрешности передачи проектных отметок на монтажный горизонт имеет вид

$$\begin{aligned} m_{H\text{доп}} &\leq \pm(m_{H\Sigma} + 0,05H) \\ \text{или } m_{H\text{доп}} &\leq \pm(2m_H + 0,05H), \end{aligned} (2)$$

где H – высота монтажного горизонта, м; $m_{H\Sigma}$ – суммарная погрешность передачи отметки на горизонт высотой H , определяемая по формуле

$$m_{H\Sigma}^2 = m_t^2 + m_m^2 + m_y^2 + m_n^2 + m_r^2, (3)$$

где m_t , m_m , m_y , m_n , m_r – средние квадратические погрешности определения соответственно деформаций: температурой, мгновенно-упругой, усадочной, ползучести бетона, геодезических измерений высоты.

Для дальнейших расчетов принимаем согласно принципу равных влияний, что названные погрешности равны каждая по модулю значению m_h (средней квадратической погрешности измерения превышения), и тогда $m_{H\Sigma}^2 = 5m_h^2$. Поэтому из формулы (3) получаем

$$m_h = 2m_{H\Sigma} / \sqrt{5}. (4)$$

Например, для монтажного горизонта $H = 100$ м получаем для отдельного фактора $m_h = 10/\sqrt{5} = \pm 2,2$ мм, при этом его допустимое значение $m_{h, \text{доп}} = \pm 4,5$ мм.

Температурная поправка в проектную отметку монтажного горизонта рассчитывается по формуле

$$\Delta_t = \alpha(t_{\text{н}} - t_{\text{п}})H, \quad (5)$$

где $\alpha = 0,00001$ – нормативный коэффициент линейной деформации железобетонной конструкции на 1°C ; $t_{\text{н}}$ – средняя температура вертикальных конструкций в процессе измерений; $t_{\text{п}}$ – проектная температура тех же конструкций; H – строительная проектная отметка монтажного горизонта.

Разность температуры конструкций следует определять с предельной погрешностью

$$(t_{\text{н}} - t_{\text{п}})_{\text{пред}} \leq m_{h, \text{доп}}/(\alpha H) = \pm 4,5^\circ\text{C}. \quad (6)$$

Поправки за счет упругой вертикальной деформации каркаса от собственной массы и нагрузки в процессе монтажа рассчитываются как мгновенные по формуле, приведенной в [3] для колонн, центрально нагруженных внешней силой:

$$\Delta_{\text{м}} = (H/E_{\text{жб}} F)(P + Q/2), \quad (7)$$

где H – высота монтажного горизонта; $E_{\text{жб}}$ – осредненное значение модуля упругости на сжатие железобетонных несущих колонн; F – площадь поперечного сечения колонн; P – нагрузка от смонтированных конструкций; $Q = \gamma_{\text{жб}} FH$ – собственная масса смонтированных колонн; $\gamma_{\text{жб}}$ – удельная масса железобетонных колонн.

Для конкретного здания высотой 107,2 м (34 этажа) общим весом 962347 кН находим $P = 8,898$ кН на 1 м высоты.

Если в формуле (7) значения P , Q и $\gamma_{\text{жб}}$ определить с принятой в технике погрешностью до 5 %, то поправка $\Delta_{\text{м}}$ получится с ошибкой до 10 %, или не более 2 мм на 100 м высоты.

Расчет поправки на усадку бетона должен производиться с учетом времени протекания процесса усадки и снижения влажности бетона. Приближенная оценка результата усадки основывается на теоретических и экспериментальных данных проф. С. В. Александровского [4], согласно которым для периода возведения зда-

ния можно принять относительный коэффициент линейной усадки бетона $\beta_{\text{б}} \approx 0,00025$. Принятое значение $\beta_{\text{б}}$ подлежит корректировке в зависимости от продолжительности возведения здания, условий твердения и высыхания бетона при осредненных показателях тепло-влажностных характеристик воздушной среды с учетом накопления соответствующих опытных данных. При 5 % армирования относительную линейную усадочную деформацию армированных (железобетонных) колонн примем пониженной за счет сопротивления усадке бетона стальной арматурой

$$\beta_{\text{жб}} = \beta_{\text{б}}(E_{\text{б}} \cdot 0,95 - E_{\text{ст}} \cdot 0,05)/E_{\text{б}}. \quad (8)$$

Тогда ожидаемое значение коэффициента временной усадки

$$\beta_{\text{жб, вр}} \approx 0,00025(20000 \cdot 0,95 - 200000 \cdot 0,05)/20000 = 0,00011.$$

Соответствующая оценка линейного усадочного вертикального перемещения на строительной отметке H в течение периода строительства составит (табл. 1)

$$\Delta_y = \beta_{\text{жб, вр}} H \approx 0,00011H. \quad (9)$$

Погрешность приближенной оценки значения Δ_y может достигать 20–30 %, или около 3 мм на 100 м высоты.

Оценка поправки за счет ползучести бетона под нагрузкой основывается на данных [4], согласно которым для рассматриваемой задачи относительная деформация ползучести бетона может быть принята в среднем $\varphi \approx 30 \cdot 10^{-7}$ с коэффициентом 0,5, учитывающим среднее значение силовой нагрузки по высоте. Следовательно, конечное значение ползучей деформации железобетонных несущих конструкций на отметке 100 м оценивается пренебрежимо малой величиной – около 1,5 мм. При этом на практике деформации ползучести бетона по малости не выделяются из его усадочных деформаций, и в формуле (3) принимаем $m_{\text{п}} = 0$.

В табл. 1 приведены экспериментальные и расчетные значения вертикальных поправок:

- в графе 5 – суммарные экспериментально найденные поправки, равные разности фактически полученных (без соответствующих исправлений) и проектных отметок монтажного горизонта $\Delta_s = H_{\text{ф}} - H_{\text{п}}$;

Поправки в вертикальные разбивочные расстояния за счет вертикальных смещений точек монтажного горизонта вследствие изменений температуры, увеличения массы и усадки несущих железобетонных конструкций каркасного здания в период его возведения

| Дата измерения | Этаж | Проектная отметка $H_{п}$, м | Фактическая отметка $H_{ф}$, м | Δ_3 , мм | Температура t , °C | Δt , °C | Вертикальные перемещения, мм | | | | |
|----------------|------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|
| | | | | | | | температуры $\pm\Delta_t$ | упругости Δ_M | усадки Δ_y | $\Sigma\Delta H_i(\Delta_p)$ | $\Delta_p - \Delta_3$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 19.04.10 | 0 | 0,000 | 0,000 | - | +10 | - | - | - | - | - | - |
| 08.12.10 | 21 | 65,300 | 65,279 | 21 | -3 | 13 | -8,5 | -7,2 | -7,2 | -23,1 | -2,1 |
| 24.12.10 | 22 | 68,600 | 68,577 | 23 | -1 | -11 | -7,5 | -8,0 | -7,5 | -23,5 | -0,5 |
| 18.01.11 | 23 | 71,900 | 71,874 | 26 | +1 | -9 | -6,5 | -8,8 | -7,9 | -23,2 | +2,8 |
| 20.02.11 | 25 | 75,200 | 75,168 | 32 | -14 | -24 | -18,0 | -9,6 | -8,3 | -35,9 | -3,9 |
| 17.03.11 | 26 | 81,800 | 81,768 | 32 | -2 | -12 | -9,8 | -11,4 | -9,0 | -30,2 | +1,8 |
| 29.03.11 | 28 | 85,100 | 85,068 | 32 | +2 | -8 | -6,8 | -12,3 | -9,4 | -28,5 | -3,5 |
| 16.04.11 | 29 | 91,700 | 91,669 | 31 | +7 | -3 | -2,7 | -14,3 | -10,1 | -27,1 | -3,9 |
| 26.04.11 | 30 | 95,000 | 94,982 | 18 | +16 | +6 | +5,7 | -15,4 | -10,5 | -20,2 | -2,2 |
| 12.09.11 | 31 | 98,300 | 98,277 | 23 | +15 | +5 | +4,9 | -16,4 | -10,8 | -22,3 | +0,7 |
| 25.10.11 | 32 | 101,600 | 101,568 | 30 | +6 | -4 | -4,1 | -17,6 | -11,2 | -32,9 | -2,9 |
| 25.01.12 | 333 | 104,900 | 104,858 | 42 | -5 | -15 | -15,7 | -18,7 | -11,5 | -45,9 | -3,9 |

- расчетные поправки переменного знака $\pm\Delta_t$ (графа 8), соответствующего знаку перепада температуры конструкций $\Delta_t = (t_n - 10 \text{ °C})$ относительно начальной температуры +10 °C;

- расчетные поправки одноименного знака Δ_M и Δ_y (графы 9 и 10), соответствующие силовой (упругой) и усадочной осадкам монтажного горизонта относительно исходного горизонта, и суммы всех поправок (графа 11) $\Sigma\Delta_i = \Delta_p = \Delta_t + \Delta_M + \Delta_y$;

- расхождения $\Delta_p - \Delta$ (графа 12) между расчетными и измеренными значениями поправок.

ВЫВОДЫ

1. Расчетные и фактически найденные поправки в вертикальные разбивочные расстояния, обусловленные изменениями температуры, увеличением массы и усадки несущих железобетонных конструкций каркасного здания в период его возведения, в данном исследовании согласуются между собой в пределах погрешностей геодезических измерений и точности расчета определяемых величин.

2. При отсутствии температурно-усадочных швов протяженные высотные здания необходимо возводить с достаточной равномерностью по высоте во избежание чрезмерной разности

вертикальных деформаций несущих и заполняющих конструкций.

3. Для разработки дополнений к ТКП [1] или руководства по учету температурных, силовых и усадочных поправок в вертикальные расстояния при передаче проектных отметок на монтажные горизонты высотных зданий следует выполнить экспериментальные исследования по выявлению фактических значений рассматриваемых деформаций типичных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Геодезические** работы в строительстве. Правила проведения: ТКП 45-1.03-26-2006 (02250). – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006.

2. **Вексин, В. Н.** Геодезическое сопровождение строительства высотных зданий из монолитного железобетона / В. Н. Вексин // Наука – образованию, производству, экономике: материалы десятой Междунар. науч.-техн. конф. – Минск: БНТУ, 2012. – Т. 3. – С. 23.

3. **Пособие** к решению задач по курсу «Соппротивление материалов» / И. Н. Миролубов [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1969.

4. **Александровский, С. В.** Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести / С. В. Александровский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973.

Поступила 29.04.2013