

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЯ КНИГОХРАНИЛИЩА НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Канд. техн. наук, проф. НЕСТЕРЕНКО М. С.*

*Белорусский национальный технический университет*

Геодезический мониторинг осадки и горизонтальных перемещений здания высотного книгохранилища и лифтовой башни проводился в процессе возведения (ноябрь 2002 – май 2005 г.), но вынужденно был прекращен в апреле 2005 г., поскольку знаки опорной геодезической сети были утрачены при вертикальной планировке и обустройстве прилегающей территории, а деформационные знаки – вследствие интенсивного развития работ по отделке помещений и монтажу оборудования. Прерванный геодезический контроль за перемещениями здания высотного книгохранилища и стабильностью его геометрии подлежит возобновлению, как и принято в практике эксплуатации сложных уникальных сооружений. В настоящей статье приводится научное обоснование методики и точности обозначенных геодезических исследований.

На стадии строительства геодезические работы по определению осадки, крена и точности монтажа здания высотного книгохранилища, а также крена лифтовой башни включали:

1) выборочные контрольные исполнительные съемки несущих конструкций по внешнему контуру каркаса высотного книгохранилища на отметках 30,6; 51,6 и 73,2 м и определение пространственных смещений контрольных точек этих конструкций (исполнители – кафедра инженерной геодезии БНТУ и УП «Геокарт»);

2) измерения осадки фундамента книгохранилища и лифтовой башни в процессе строительства (исполнитель – РУП «Геосервис»);

3) определение крена здания книгохранилища и лифтовой башни в процессе строительства (исполнители – кафедра геодезии БНТУ и УП «Геокарт»);

4) определение деформаций и крена каркаса высотного книгохранилища при раскручива-

нии его железобетонных конструкций (исполнители – кафедра инженерной геодезии БНТУ и УП «Геокарт»).

На стадии возведения каркаса высотного книгохранилища его железобетонные конструкции поддерживались системой кружал на стальных опорах, установленных на песчаных домкратах, которые в свою очередь опирались на кольцо жесткости, расположенное на отметке +12,6 м [1]. К началу раскручивания (с 29.02.05 по 04.03.05) по теоретическим расчетам осадка объекта прогнозировалась около 80 мм, но фактическая осадка фундаментной плиты книгохранилища оказалась 40 мм при неравномерности 1 мм (погрешность измерения осадки составила около 0,3–0,5 мм, погрешность определения неравномерности осадки – 0,15–0,3 мм). В процессе раскручивания и в последующие два месяца неравномерность осадки фундамента не превысила 0,3–0,4 мм и практически не повлияла на результаты измерения горизонтальных и вертикальных смещений контрольных знаков высотной части книгохранилища.

При раскручивании измерялись общие деформации каркаса. Для их определения был принят метод угловых измерений при помощи теодолита Т05 (угловая погрешность  $m_{\beta} = 0,5-1''$ ). Достигнутая точность измерения горизонтальных смещений наружных точек каркаса составила 1,5–2 мм. Средние фактические значения измеренных вертикальных смещений  $\Delta H$  марок на заданной отметке характеризуются погрешностями  $m_{\Delta H, \text{средн}} \approx 0,7$  мм. Отклонения  $\pm \delta H$  от среднего значения  $\Delta H$  соизмеримы с погрешностями  $m_{\Delta H}$ . Методика и результаты измерений описаны в [2]. Обобщенные данные о смещениях внешних точек каркаса приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Измеренные значения перемещений деформационных знаков каркаса  
высотной части книгохранилища после раскруживания**

| Номер цикла                                                                   | 0     | 1                 | 2                 | 3                 | 4                 | 5                 | 6                 | 7                 |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Дата на 2005 г.                                                               | 29.01 | 02.02             | 09.02             | 12.02             | 19.02             | 24.02             | 02.04             | 16.04             |
| Изменения температуры каркаса                                                 | 0     | +2°               | -5°               | +3°               | +4°               | +2°               | +12°              | +19°              |
| Исправленные с учетом температуры средние перемещения и отклонения от средних |       |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| По радиусу: $\Delta R$ , мм,<br>$\pm \delta R$ , мм                           | —     | +2,0<br>$\pm 1,0$ | +2,8<br>$\pm 1,3$ | +3,3<br>$\pm 1,0$ | +4,7<br>$\pm 1,8$ | +4,0<br>$\pm 2,3$ | +3,3<br>$\pm 2,1$ | +2,6<br>$\pm 1,9$ |
| Осадка на отметках<br>30,6 м: $\Delta H$ , мм,<br>$\pm \delta H$ , мм         | —     | -2,5<br>$\pm 1,5$ | -4,0<br>$\pm 1,2$ | -4,4<br>$\pm 1,0$ | -3,9<br>$\pm 1,5$ | -4,8<br>$\pm 0,7$ | -5,6<br>$\pm 1,2$ | -6,9<br>$\pm 1,0$ |
| 51,6 м: $\Delta H$ , мм,<br>$\pm \delta H$ , мм                               | —     | -3,2<br>$\pm 1,3$ | -4,3<br>$\pm 1,0$ | -4,9<br>$\pm 1,3$ | -4,8<br>$\pm 0,8$ | -4,3<br>$\pm 1,2$ | -6,7<br>$\pm 1,5$ | -7,9<br>$\pm 1,0$ |
| 73,2 м: $\Delta H$ , мм,<br>$\pm \delta H$ , мм                               | —     | -3,8<br>$\pm 1,6$ | -4,5<br>$\pm 1,4$ | -5,5<br>$\pm 1,2$ | -4,8<br>$\pm 1,1$ | -4,9<br>$\pm 1,4$ | -7,9<br>$\pm 1,7$ | -9,5<br>$\pm 1,9$ |
| Вероятный крен, мм,<br>на отметке 73,2 м                                      | —     | 0,7<br>$\pm 1$    | 0,6<br>$\pm 1$    | 0,8<br>$\pm 1,5$  | 0,3<br>$\pm 2,0$  | 1,6<br>$\pm 1,8$  | 2,0<br>$\pm 1,5$  | 2,2<br>$\pm 1,8$  |

Вероятностные результаты измерений показали, что в процессе раскруживания с 29.02.05 по 04.02.05 силовые деформации объемного модуля книгохранилища соответствовали расчетным и были кратковременными. По данным циклов 3–5 в измеренных значениях вертикальных и горизонтальных смещений были выявлены температурные составляющие деформаций, отвечающие изменениям средней температуры конструкций. В циклах 6 и 7 при незначительном приращении осадки фундамента ( $\leq 0,4$  мм) выявлены горизонтально-радиальные смещения контрольных точек контура конструкций по радиусам относительно

ядра жесткости величиной  $\Delta R \approx -1,5$  мм и вертикальные смещения  $\Delta H \approx -2$ ;  $-3,6$  и  $-4,7$  мм на отметках 30,6; 51,6 и 73,2 м. Приведенные данные геодезических измерений послужили основой вывода [2] о том, что высотные объекты здания Национальной библиотеки Республики Беларусь в процессе строительства не претерпели деформаций, осадки и крена, выходящих за пределы их расчетных проектных величин.

Расположение одной из наблюдательных станций при возобновлении геодезического мониторинга смещений высотного здания книгохранилища показано на рис. 1.

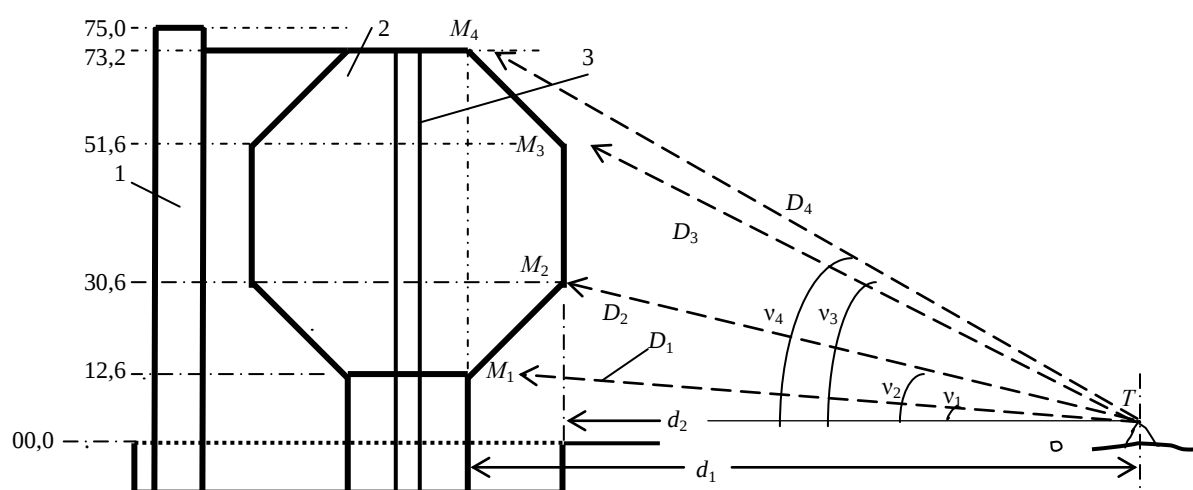


Рис. 1. Проект схемы наблюдений деформационных точек на здании высотного книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь: 1 – лифтовая башня; 2 – высотное книгохранилище; 3 – ядро жесткости; T – тахеометр;  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  – места деформационных марок;  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_4$  – углы наклона;  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  – расстояния

При организации и проведении геодезического мониторинга осадки и крена здания высотного книгохранилища, а также лифтовой башни, находящихся в эксплуатации, точность геодезических измерений следует устанавливать согласно требованиям Технического кодекса существующей практики геодезических работ в строительстве [3]:

- допустимая погрешность измерения осадки

$$\Delta x_H = 1 \text{ мм}; \quad (1)$$

- допустимая погрешность измерения крена для точки на высоте  $H_i$

$$\Delta x_{ki} = 0,0001 H_i. \quad (2)$$

Для точности показателей (1) и (2) необходимо учитывать требования ГОСТ 26433.0–85, согласно которому для геодезических работ в строительстве допускаются методы и средства геодезических измерений, обладающие метрологическими параметрами и удовлетворяющие условиям:

$$\delta_{г,ср} \leq 0,16 \Delta x; \quad (3)$$

$$\delta_{г,пр} \leq 0,4 \Delta x, \quad (4)$$

где  $\delta_{г,ср}$  и  $\delta_{г,пр}$  – соответственно средняя квадратическая суммарная погрешность и предельная погрешность принимаемого метода и средств измерений;  $\Delta x$  – допустимое отклонение измеряемого геометрического параметра, определенное условиями (3) и (4), а также требованиями к геометрической точности строительства [4].

При измерениях деформаций строительных конструкций условие (1) допускается заменять следующим условием, применяемым в процессе и при контроле точности изготовления и установки элементов:

$$\delta_{г} \leq 0,2 \Delta x. \quad (5)$$

Следовательно, средства и методы нивелирных измерений должны характеризоваться предельной погрешностью определения вертикальных перемещений (осадки) фундаментов и цоколя

$$(\delta_{г,ср}) \leq 0,4 \delta_{г} = 0,4 \text{ мм}. \quad (6)$$

Требование (6) реализуется методами нивелирования I и II классов.

Согласно условиям (2) и (5) приращения крена здания книгохранилища на высотах 12,6; 51,6 и 73,2 м должны определяться с предельной погрешностью соответственно 0,5; 2 и 3 мм, рассчитанной по формуле

$$(\delta_{г})_{крени} \leq 0,4 \cdot 0,0001 H_i = 0,00004 H_i. \quad (7)$$

Горизонтальная составляющая приращения крена в направлении, перпендикулярном створу «угломерный прибор – марка», должна определяться с предельной погрешностью

$$m_{\beta} \leq 0,00004 H_i \rho'' / D. \quad (8)$$

Здесь  $\rho'' = 206265''$  – число секунд в радиане.

При  $D \leq 200$  м;  $H_i = 12,6$ ; 51,6 и 73,2 м требования к точности измерения горизонтальных углов составляют  $m_{\beta} = 0,5''$ ; 2'' и 3'', каковым отвечают теодолит Т05 и электронный тахеометр ТС1200.

Вертикальная составляющая отклонений может определяться с помощью тахеометра ТС1200 по схеме тригонометрического нивелирования визированием на контрольные точки  $M_i$  (рис. 1). Расчетная погрешность определяемого превышения составляет

$$m_h^2 = 2[(m_D \sin \nu_1)^2 + (m_{\nu} D / \rho'' \cos \nu_1)^2], \quad (9)$$

где  $m_D = 2$  мм – погрешность лазерного дальномера;  $\nu$  – углы наклона дальностей  $D$ ;  $m_{\nu}$  – средняя квадратическая погрешность угла наклона.

При  $m_D = 2$  мм;  $\nu = 17^\circ$ ;  $D \leq 200$  м;  $m_{\nu} = 2''$  получаем оценку погрешности  $m_h \leq 3,1$  мм. Следовательно, вертикальные смещения контрольных точек на отметках 12 м и выше определяются тригонометрическим нивелированием с точностью, удовлетворяющей геометрическому критерию (4) при  $\Delta x \leq 10$  мм по [4].

Рассмотренная методика геодезического мониторинга стабильности пространственного положения и геометрии высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Беларуси рассчитана на применение электронного

тахеометра TC1200, угловая точность которого составляет 1", линейная – 2 мм.

### ВЫВОДЫ

1. Результаты геодезического контроля осадки и горизонтальных перемещений здания высотного книгохранилища и лифтовой башни, проводившегося в процессе их возведения, показали, что высотные объекты Национальной библиотеки Республики Беларусь в процессе строительства не претерпели деформаций, осадки и крена, выходящих за пределы их расчетных проектных величин.

2. Дано научное обоснование методики и точности геодезического мониторинга пространственных смещений уникального высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь в процессе его эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Конструктивно-технологические** особенности возведения высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Беларуси / Л. М. Шохина [и др.] // Строительная наука и техника. – 2006. – № 1 (4). – С. 3–15.
2. **Нестеренок, М. С.** Методы и результаты контрольных геодезических работ при строительстве высотного книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь / М. С. Нестеренок, В. Ф. Нестеренок, В. Н. Вексин // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2005. – № 3 (18). – С. 15–18.
3. **Технический** кодекс установившейся практики. Геодезические работы в строительстве: ТКП-45 / Производство работ. – Минск, 2006.
4. **Несущие** и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01–87. – М.: АПП ЦИТП, 1991.

Поступила 10.10.2006