

*Нестеренок Маргарита Сергеевна, канд. техн. наук, проф.,
Белорусского национального технического университета,
г. Минск, Беларусь*

***Геодезический мониторинг осадки и крена высотного здания
книгохранилища национальной библиотеки Республики Беларусь***

***Of geodesy monitoring of settling and heel of high part of Belarus
national library building***

В статье приведены результаты геодезических измерений осадки и крена высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Республики Беларусь.

Result of monitoring of settling and heel of high part of Belarus national library building are considered.

Геодезический мониторинг осадки и крена высотного здания книгохранилища Национальной библиотеки Беларуси выполняется по предписанию проектной организации УП «МИНСКПРОЕКТ» с целью выявления показателей общей устойчивости уникального сооружения в процессе его возведения и последующей эксплуатации. Обобщенная схема здания приведена на рис. 1, а.

1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ОСАДКИ

Допустимая погрешность измерений осадки марок равна 1 мм. Фактическая предельная погрешность измеренных приращений их осадки составила 0,3–0,5 мм для высокоточного нивелира DiNi-12 и 0,2–0,3 мм для прецизионного нивелира Reni-002.

Измеренные значения приращений осадки получены относительно даты начала нивелирных измерений 04.10.04 г., когда здание было возведено до строительной отметки +42,6 м (см. рис. 1, а) и открылась возможность установить постоянные осадочные марки. В период с 04.10.04 г. по 04.10.07 г. нивелирование выполнялось специалистами РУП «Геосервис». С даты 29.05.08 г. работы про-

должны кафедрой инженерной геодезии БНТУ совместно с УП «Геокарт» при помощи нивелира Reni-002.

Принципиальная конструктивная фундамента здания Национальной библиотеки рассмотрена в статье [1] ведущих разработчиков инженерной части проекта. Относительно высотного здания книгохранилища (рис. 1, *а*) монолитный железобетонный фундамент представляет собой трехъярусное коробчатое сооружение диаметром 56 м, высотой 15,4 м со стенами толщиной 0,5 м и шагом 6,0×6,0, высота каждого яруса 5,0 м. Нижняя фундаментная плита имеет толщину 1,2 м, средняя и верхняя плиты – по 0,5 м. Фундамент расширен в сторону опирания на него лестнично-лифтовой башни и имеет в плане очертание, показанное на рис. 1, *б*. Фундамент запроектирован как пространственный монолитный штамп, способный равномерно распределять нагрузку по площади подошвы.

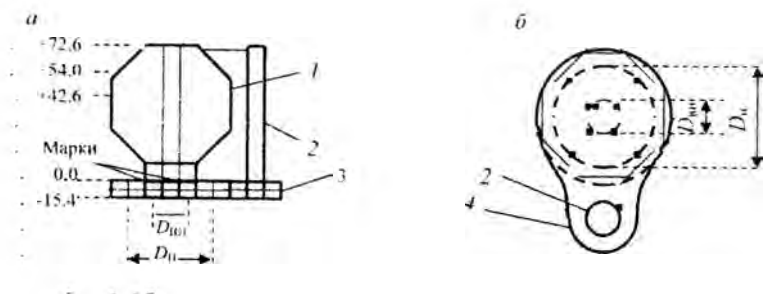


Рис. 1. Общая схема высотного здания и мест установки осадочных марок на отметке 0.0 по контрольным окружностям:

а – вертикальный разрез здания; *б* – схема здания в плане; 1 – высотное книгохранилище; 2 – лифтовая башня; 3 – фундамент; 4 – контур фундамента; ■ – осадочные маркы

На рис. 2, *а* приведены значения измеренной осадки марок за время между датами 04.10.04 г и 29.05.08 г. Средняя измеренная осадка марок, закрепленных по внутренней контрольной окружности, достигла 52,4 мм. Средняя осадка марок по внешней окружности – 47,8 мм.

Ход роста и затухания средней измеренной осадки марок во времени за период контроля показан на рис. 3 линией $S_{и}$, которая математически выражается экспоненциальной функцией

$$S_t = S_x(1 - e^{-t/T}),$$

где S_x – конечная осадка; t – текущее время; T – параметр, определяемый расчетом или опытными данными.

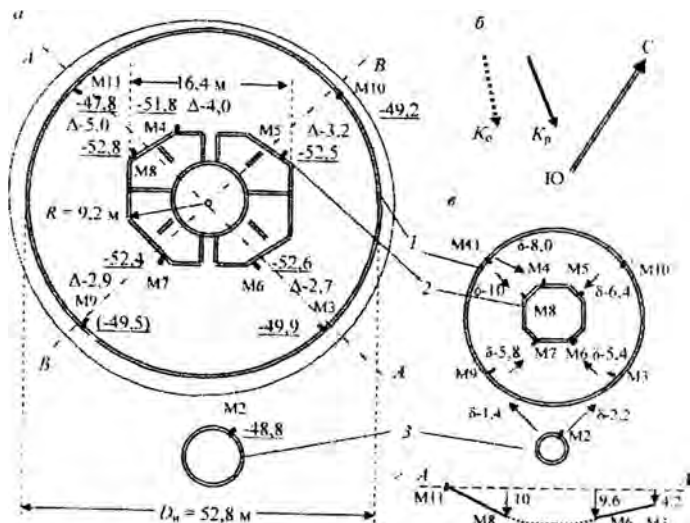


Рис. 2. Схема размещения осадочных марок на отметке 0,0 высотного здания книгохранилища и измеренные значения их осадки:

a – осадка за время между датами 04.10. 04. г. – 29.05.2008 г.; *б* – направления крена; *в* – вероятные неравенства полной осадки соседних марок по радиальным направлениям к ядру жесткости сооружения; *г* – неравномерность полной вероятной осадки марок по диаметру *AA*; 1, 2 – внешняя и внутренняя окружности размещения осадочных марок; 3 – лифтовая башня; -47,8 – измеренная осадка; Δ -5,0 – измеренная неравномерность осадки соседних марок между наружным и внутренним окружностями по диаметрам *AA* и *BB*; δ 10 – полная вероятная неравномерность осадки тех же марок от начала возведения надфундаментных конструкций; K_p – крен здания при раскруживании (2005 г.) на отметке +72,6 м; K_o – вероятное направление осадочного крена

Линейная экстраполяция кривой S_{in} от точки *A* к началу роста нагрузок на фундамент приводит к приближенной оценке величины той части осадки, которая протекала до начала измерений – незаре-

гистрированной осадки – ее значение $S_y \approx 50$ мм. Сумма величин S_y и S_n представляет приближенное значение текущей полной осадки $S_n \approx -100$ мм, которая на май 2008 г. оказалась вдвое меньше конечной расчетной осадки ≈ 200 мм, приведенной в статье [1]. Прогноз дальнейшего хода осадки основан на предположении, что в последующие годы при пополнении фондохранилища и стабилизации напряженно-деформированного состояния фундамента и грунтового основания приращение осадки отдельных марок будут протекать с практически равной скоростью, не превышающей 0,5–1,0 мм в год, и с незначительной неравномерностью.

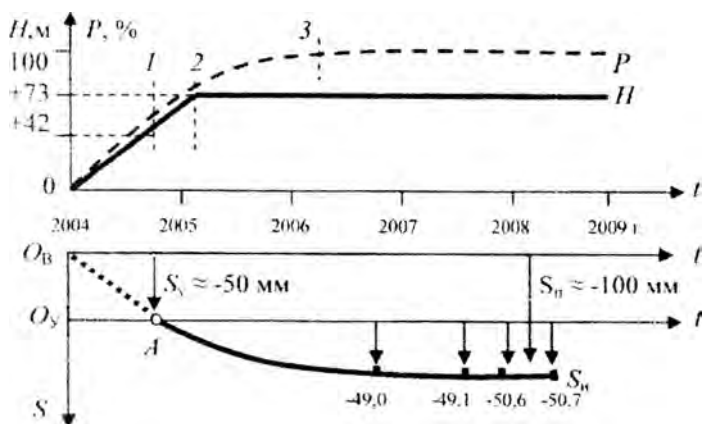


Рис. 3. Графики роста нагрузки на фундамент и средней осадки высотного здания книгохранилища во времени:

P – рост массы здания; H – высоты здания; S_n – измеренной средней осадки; S_y – вероятная осадка за первоначальный период 0-1 возведения здания по 60 % его высоты до отметки +42,6; 1-2 – период возведения здания до полной высоты; 2-3 – период окончания внутренних работ и первоначального заполнения фондохранилища

Оценка полных вероятных значений неравномерности осадки марок на май 2008 г. основана на графике измеренной средней осадки марок, экстраполированном на период отсутствия измерений – от начала строительства высотной части здания до момента начала измерений (отрезок $O_B A$ на рис. 3). Отношение значения вероятной полной осадки S_n к вероятной величине незарегистрированной осадки S_y представляет коэффициент $\eta \approx S_n / S_y = 2$, предна-

значенный для приближенной оценки полной величины осадки каждой отдельной марки. При этом соответствующие измеренные значения осадки марок, приведенные на рис. 2, следует удвоить, например для марки М11 полная осадка $S_{\pi} \approx -47,8 \times 2 = -95,6$ мм.

Вероятное условно полное значение неравенства осадки двух марок $\delta = 2\Delta$, где Δ – измеренное неравенство осадки этих марок (см. рис. 2, а). Например на рис. 2, в между марками М11 и М8 указано $\delta = 10$ мм.

В дополнение к данным рис. 2, а на рис. 2, г показана схема неравномерности полной осадки по диаметру АА, иллюстрирующая, что вблизи ядра жесткости вероятная практически равномерная осадка конструкций может превышать ее значения по внутренней окружности контроля.

2. ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ КРЕНА ПО ДАННЫМ ОБ ОСАДКЕ

Согласно рис. 2, а неравномерность измеренной осадки марок по внутренней контрольной окружности не превысила 0,4 мм (погрешность 0,1–0,2 мм), по внешней окружности достигла 2,1 мм (погрешность 0,1–0,3 мм). Марки внутренней контрольной окружности осели больше марок наружной окружности: по сечению АА на 5,0 и 2,7 мм; по сечению ВВ на 3,2 и 2,9 мм. Марка М2 лифтовой башни осела на 48,8 мм.

Незначительное неравенство осадки марок в пределах 0,4 мм по внутренней окружности за время после возведения объекта над отметкой +42,6 характеризует высокую горизонтальную устойчивость центральной части фундамента, а также вертикальную устойчивость основания ядра жесткости высотного здания. Но неравенства осадки опор высотного здания по внешней окружности создают силы, способствующие возникновению некоторого осадочного крена сооружения. Зафиксированные неравномерности осадки между марками наружной контрольной окружности и относительно марок внутренней контрольной окружности характеризуют вертикальные деформации поверхности фундамента и могут быть использованы только для качественной оценки направления и величины осадочного крена высотной части сооружения. Вероятное направление его осадочного крена показано на рис. 2, б вектором K_0 . Возможные

линейные значения K_0 могли достичь 2–3 мм на отметке +42,6 м. В дальнейшем нарастание осадочного крена высотного здания возможно только при дестабилизации прочностных свойств грунтового основания.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА ВЫСОТНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ ПРЯМЫМИ ИЗМЕРЕНИЯМИ

Впервые целевые непосредственные измерения крена высотного здания были выполнены с 29.02. по 04.03.05 г. при геодезическом контроле его деформаций в процессе раскружаливания [2]. Измеренная величина крена на отметке +72,6 составила $K_p = 2,6 \pm 2$ мм, его вероятное направление показано на рис. 2, б.

Систематические измерения по выявлению возможного крена высотного здания начаты в апреле 2008 г. при помощи высокоточного электронного тахеометра TCR 1201 (угловая приборная погрешность $m_\beta = 1''$, линейная $m_D = 2$ мм). Восемь деформационных знаков установлены на отметке +54 высотного здания. Пункты установки электронного тахеометра (наблюдательные станции) размещены на расстояниях от контрольных знаков до $(1,5–1,8)h$, где h – превышение контрольного знака над тахеометром. Специальными расчетами и результатами работ 1-го цикла показано, что достижимая точность изменения линейных величин крена составляет 1-2 мм.

4. ВЫВОДЫ

1. Полная средняя осадка поверхности фундамента высотного здания Национальной библиотеки Беларуси на май 2008 г. достигла вероятной величины 100 мм при неравномерности до 5 мм и находится в начальной стадии стабилизации.

2. Незначительная неравномерность осадки фундамента вблизи ядра жесткости в пределах 0,4 мм после возведения здания выше отметки +42,6 дает основание предположить малую величину осадочного крена высотного здания в период строительства и скорое затухание осадочного крена с началом эксплуатации сооружения.

3. Характеристики устойчивости высотного здания книгохранилища по показателю его крена в процессе эксплуатации должны быть получены прямыми геодезическими измерениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монолитный железобетонный фундамент высотной части здания Национальной библиотеки Беларуси / Л.М. Шохина [и др.]; Будаўніцтва-Строительство-Construction. УП «Тыдзень». – Минск, 2003. – № 1-2. – С. 295–299.

2. Нестеренок, М.С./ Методы и точность геодезических разбивочных работ при строительстве здания Национальной библиотеки Республики Беларусь / М.С. Нестеренок, В.Н. Вексин, В.Ф. Нестеренок // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – М., 2004. – № 15. – С. 12–16.