

EDN: COSDCR

УДК 628.48:69.03

М. И. ЛОБОВ, Т. В. МОРОЗОВА, О. В. ВОЛОЩУКФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Строительство сложных и уникальных зданий и сооружений требует надежного геодезического обеспечения. Многоэтажные сборные и монолитные здания характеризуются повышенными требованиями к точности строительно-монтажных работ. Одним из развивающихся направлений геодезического мониторинга является диагностика высотных зданий и башенных сооружений, как на этапе строительства, так и в процессе последующей эксплуатации. Исследуются известные и разрабатываются новые методы и методики мониторинга, основанные на возможностях современных геодезических приборов. В статье приведен анализ зарубежного опыта геодезического мониторинга и исследования точности вертикального проецирования при строительстве и эксплуатации высотных зданий и башенных сооружений. Предложена методика определения крена возводимого здания. Рассмотрен алгоритм расчета точности передачи базисного расстояния на монтажный горизонт и выполнен анализ надежности предложенного метода вертикального проецирования в стесненных условиях строительных площадок.

Ключевые слова: вертикальное проецирование, неvertикальность монолитных зданий, расчет точности геодезических работ, методика определения крена сооружения.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Вертикальность высотных зданий и башенных сооружений, является одним из основных условий обеспечения их устойчивости, прочности и долговечности. Она характеризуется отклонением точек пересечения главных или основных осей на монтажных горизонтах от вертикальных осей зданий или башенных сооружений.

В последние десятилетия в связи с сокращением свободных земельных территорий в крупных городах активно производится точечная застройка высотными зданиями до 20 и более этажей, спортивными сооружениями, промышленными башенными сооружениями, высоковольтными линиями электропередач, эксплуатирующихся в различных климатических условиях, требующих повышения эксплуатационной надежности особенно при воздействии ветровой нагрузки. В таких условиях при эксплуатации высотных объектов для повышения прочности и надежности необходимо учитывать воздействие различных факторов. Динамические воздействия требуют особого изучения. Подобные здания и сооружения возводятся в Донецке и других городах Донбасса, где более 70 % территорий подвержены влиянию подземных горных работ, связанных с добычей каменного угля в разные периоды времени. Строительство высотных зданий и башенных сооружений на ограниченных площадях накладывает определенные условия на технологию геодезических разбивочных работ и обеспечение вертикальности высотных объектов. В процессе строительства вследствие подработок и под воздействием климатических факторов (ветер, гололед, неравномерный тепловой нагрев) могут происходить неравномерные осадки, наклоны, крены. Большинство таких зданий и сооружений могут иметь криволинейную или сложную форму в плане, поэтому требуется применять нестандартные технологические решения по обеспечению геометрической точности и особенности их вертикальности.

© М. И. Лобов, Т. В. Морозова, О. В. Волощук, 2023



Целью данной работы является обобщение, анализ и разработка оптимальной методики геодезического контроля при возведении высотных зданий и сооружений в условиях точечной застройки в стесненных условиях.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам геодезического мониторинга при строительстве уникальных зданий и башенных сооружений посвящены многолетние исследовательские работы, проводимые на кафедре «Инженерная геодезия» ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Непосредственно геодезическому обеспечению строительства объектов посвящены следующие работы [1, 2, 3, 4].

Наиболее жесткие допуски к обеспечению точностных параметров предъявляются к монолитным зданиям и металлическим башенным сооружениям, возводимым в сочетании со сборными конструктивными элементами [5, 6].

Такие конструктивные решения применяют для многих зданий башенного типа со стальным каркасом и крупноразмерными элементами наружных стен. Во Франции, Германии, Швеции точность изготовления и монтажа сборных конструкций ограничивается допусками на невертикальность монтажного ядра жесткости, возводимого с использованием опалубки, до 25 мм [6]. Исследования, выполненные в Германии, показали, что невертикальность монолитных зданий, выражается эмпирической зависимостью от высоты

$$\Delta = 4,55\sqrt[3]{H^2} \text{ мм} \quad (1)$$

где Δ – допустимое отклонение от вертикали,
 H – высота здания.

Для 18 этажного здания, высотой 60 м, допустимое отклонение от вертикали составляет 74 мм или $1/800 H$.

В США не вертикальность монолитных высотных объектов не должно превышать величины

$$\Delta = 0,167H \text{ мм} \quad (2)$$

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В СНиП 3.01.03-91 «Геодезические работы в строительстве» для зданий, возводимых в опалубке предельное отклонение от вертикали принято равным $\Delta = 0,001H$, но не более ± 50 мм.

Исследования проводились в г. Макеевка при возведении двух монолитных 14-этажных зданий в скользящей опалубке (м-н «Зеленый» и м-н «Солнечный»), позволили получить эмпирические зависимости, выраженные уравнениями:

$$\Delta_{\text{зел.}} = 10,4 + 2,46H - 0,028H^2, \quad (3)$$

$$\Delta_{\text{сол.}} = 8,8 + 2,74H - 0,036H^2. \quad (4)$$

При высоте зданий 50 м отклонения от вертикали составили: в м-не «Зеленый» – 63 мм, в м-не «Солнечный» – 56 мм.

Учитывая стесненные условия строительных площадок при точечной застройке высотных зданий основным методом контроля вертикальности, являлось вертикальное проектирование, осуществляемое оптическим прибором ПОВП. Так, для возведения 23 – этажных зданий по проспекту Панфилова в г. Донецке, было предусмотрено создание внутренней плановой сети в каждом здании в виде треугольников. При использовании методики принудительного центрирования, средняя квадратическая погрешность передачи базисного расстояния на монтажный горизонт может быть предвычисленное по формуле:

$$m_{\text{М.Г.}} = \sqrt{2(m_{x_0}^2 + m_{y_0}^2 + m_h^2)}; \quad (5)$$

где m_{x_0}, m_{y_0} – погрешности построения точек базисной сети на исходном горизонте;
 m_h – погрешность вертикального проектирования. При сквозном методе проектирования для $H = 50$ м, $m_{x_0} = m_{y_0} = 1$ мм при расчете точности по формуле:
 $m_h = 0,3 + 0,0142H = 0,3 + 0,71 = 1$ мм получим:

$$m_{М.Г.} = \sqrt{2(1^2 + 1^2 + 1^2)} = 2,45 \text{ мм},$$

т. е. погрешность измеренного базиса на монтажном горизонте не будет превышать 2,5 мм при высоте проектирования 50 м, что позволяет контролировать любую точку монтажного горизонта или опалубки.

Расчеты точности и практика возведения зданий повышенной этажности показывает, что для монтажа опалубки с проектной точностью достаточно основные оси здания выносить с точностью полигонометрии 2 разряда.

Предложенная методика определения крена возводимого высотного здания предусматривает выполнение геодезических измерений по двум противоположным сторонам (в 4-х точках). Для этого на исходном монтажном горизонте должны быть забетонированы 4 кронштейна снаружи здания для установки ПОВП методом принудительного центрирования по которому берут отсчеты по координатной сетке, установленной на любом монтажном горизонте (рисунок).

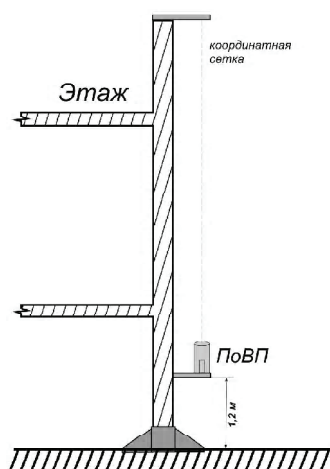


Рисунок – Схема определения крена здания.

Получив результаты измерений с помощью ПОВП на 4-х точках, вычисляют их смещение по отношению к точкам исходного горизонта, а затем и общий крен здания.

Абсолютное смещение вычисляют по формуле:

$$\left. \begin{aligned} U_{X_i} &= X_0 - X_i \\ U_{Y_i} &= Y_0 - Y_i \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где X_0, Y_0 – координаты точек исходного горизонта,
 X_i, Y_i – координаты определяемого горизонта.

Величину среднего смещения находят по измерениям на каждом этаже

$$U_{Cpч} = \frac{\sum_1^n U_{X_i}}{n}, \quad U_{Cpн} = \frac{\sum_1^n U_{Y_i}}{n}. \quad (7)$$

Разность смещений по осям получают по формулам:

$$\left. \begin{aligned} (\Delta U_{nm})_{X_i} &= (U_n)_{X_i} - (U_m)_{X_i} \\ (\Delta U_{nm})_{Y_i} &= (U_n)_{Y_i} - (U_m)_{Y_i} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

где n, m – номера точек, на которых устанавливают ПОВП и координаты которых определялись в начальный период строительства высотного здания.

Величина крена по каждой стороне здания определяется в линейной U_{nm} и относительной мере $U = U_{nm} / L$, где L – расстояние между точками n и m ; U_{nm} – смещение данных точек на определяемом этаже. Направление крена определяется по формуле:

$$\alpha = \arctg i. \tag{9}$$

Периодичность определения крена зависит от величины происходящих деформаций. Независимо от величины крена его определение обязательно требуется выполнять при достижении нагрузки на основание 25, 50, 75 и 100 %. Одновременно с определением крена выполняются наблюдения за осадками зданий. Неравномерные осадки здания существенно влияют на вертикальность, устойчивость и качество строительства.

При контроле вертикальности здания в зависимости от его высоты (этажности), условий наблюдений можно применять как оптические, так и лазерные приборы вертикального проектирования. Для сооружений башенного типа возможно применение теодолитов или тахеометров, если позволяют размеры площадок для наблюдательных станций во взаимно перпендикулярных направлениях.

Технические характеристики приборов вертикального проектирования приведены в таблице.

Таблица – Технические характеристики приборов вертикального проектирования

Показатели	Приборы		
	ПОВП (МИИГАИК)	PZL (Цейсс)	ЛВП (лазерный)
Увеличение зрительной трубы, крат	20	31	31
Пределы визирования, м	2,5–60	3–300	3–250
Пределы работы компенсатора	± 10'	± 8'	± 10'
Относительная погрешность проектирования точек	1	1	1
	30 000	50 000	40 000
Масса прибора, кг	1,5	5,0	6,0
Погрешность проектирования на 50 м, мм	1,7–2,0	1,5	2,5
Необходимые проёмы в перекрытии, мм	250	250	250–300

ВЫВОДЫ

Геодезические измерения вертикальности зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации представляют сложный процесс, включающий измерения, оценку точности, оптимальный выбор приборов, анализ результатов измерений, определение составляющих величин общего отклонения вертикальной оси от проекта, определения способа движения опалубки и контроль ее движения для монолитных зданий и сооружений. Предложенная методика определения крена высотных зданий и башенных сооружений может эффективно применяться в стесненных условиях городской застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерная геодезия : учебное пособие / М. И. Лобов, П. И. Соловей, А. Н. Переварюха, А. С. Чирва. – Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2019. – 200 с. – Текст : непосредственный.
2. Исследование точности передачи осей на монтажный горизонт GPS-методом / П. И. Соловей, А. Н. Переварюха, С. В. Лазарев [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-4(150) Научно-технические достижения студентов строительной отрасли. – С. 33–37. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4\(150\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4(150).pdf) (дата публикации: 28.06.2021).
3. Соловей, П. И. Особенности геодезического мониторинга деформаций высотных сооружений в условиях испытаний / П. И. Соловей, А. Н. Переварюха, Т. В. Морозова. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-6(158) Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. – С. 55–62. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-6\(158\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-6(158).pdf) (дата публикации: 26.12.2022).
4. Лобов, М. И. Методика расчета точности геодезических работ при возведении сложных и уникальных сооружений / М. И. Лобов, Т. В. Морозова, О. В. Волощук. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-6(152) Технология, организация, механизация и

- геодезическое обеспечение строительства. – С. 62–68. – URL: [http:// donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-6\(152\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-6(152).pdf) (дата публикации: 27.12.2021).
5. Сытник, В. С. Геодезический контроль точности возведения монолитных зданий и сооружений / В. С. Сытник, А. Б. Ключин. – Москва : Стройиздат. – 1981. – 115 с. – Текст : непосредственный.
 6. СП 126.13330-2012. Геодезические работы в строительстве = Geodetic works in building : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/1 : актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : дата введения 2013-01-01 / исполнители ООО «Тектоплан», ГУП «Мосгоргеотрест», МГУГиК (МИИГАиК), ОАО «ГСПИ». – Москва : Минрегион России, 2011. – 84 с. – Текст : непосредственный.

Получена 01.11.2023

Принята 24.11.2023

MICHAIL LOBOV, TATYANA MOROZOVA, OKSANA VOLOSHCHUK
INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF VERTICAL PROJECTION DURING
THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF HIGH-RISE BUILDINGS AND
TOWER STRUCTURES

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka

Abstract. The construction of complex and unique buildings and structures requires reliable geodetic support. Multi-storey prefabricated and monolithic buildings are characterized by increased requirements for the accuracy of construction and installation work. One of the developing areas of geodetic monitoring is diagnostics of high-rise buildings and tower structures, both at the construction stage and during subsequent operation. The well-known and developed new methods and techniques of monitoring based on the capabilities of modern geodetic instruments. The article provides an analysis of the foreign experience of geodetic monitoring and research of the accuracy of vertical projection in the construction and operation of high-rise buildings and tower structures. A method for determining the roll of a building under construction is proposed. The algorithm for calculating the accuracy of the transmission of the reference distance to the installation horizon is considered and the reliability of the proposed method of vertical projection in cramped conditions of construction sites is analyzed.

Keywords: vertical projection, non-verticality of monolithic buildings, calculation of the accuracy of geodetic works, the method of determining the roll of the structure.

Лобов Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексные геодезические исследования деформаций высотных сооружений башенного типа.

Морозова Татьяна Васильевна – старший преподаватель кафедры инженерной геодезии ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование сдвижения земной поверхности и деформаций зданий и сооружений под действием подземных горных работ.

Волочук Оксана Владимировна – старший преподаватель кафедры инженерной геодезии ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: геодезический мониторинг проводов и опор ЛЭП при воздействии различных факторов.

Lobov Michail – D. Sc. (Eng.), Professor, Engineering Geodesy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: complex geodetic researches of deformations of high-altitude constructions of tower type.

Morozova Tatyana – Senior Lecturer, Engineering Geodesy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: research movement a terrestrial surface and deformations of buildings and constructions under the influence of underground mountain works.

Voloshchuk Oksana – Senior Lecturer, Engineering Geodesy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: geodetic monitoring of wires and power transmission line supports under the influence of various factors.