

УДК 628.48:69.03

М. И. ЛОБОВ, Т. В. МОРОЗОВА, О. В. ВОЛОЩУК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ СЛОЖНЫХ И УНИКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Многоэтажные сборные и монолитные здания, уникальные сооружения характеризуются повышенными требованиями к точности строительно-монтажных работ. Особое место при строительстве, кроме разбивочных работ, занимают геодезические работы по установке и контролю установки конструктивных строительных элементов здания. Обоснование точности геодезических работ при возведении сложных и уникальных сооружений зависит от методов расчета сооружений и технологии строительства, составной частью которой являются геодезические работы. В статье проанализированы факторы, влияющие на точность геодезических работ при строительстве уникальных зданий и сооружений, которые в значительной мере определяют отклонения геометрических параметров сооружения от их проектных значений. Предложен алгоритм расчета точности геодезических работ путем использования принципа ничтожно малого влияния погрешностей при монтаже сложных и уникальных сооружений, а также прецизионного или уникального оборудования.

Ключевые слова: расчет точности геодезических работ, среднее квадратическое отклонение, погрешности систематического характера.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Строительство сложных и уникальных зданий и сооружений требует надежного геодезического обеспечения. Многоэтажные сборные и монолитные здания характеризуются повышенными требованиями к точности строительно-монтажных работ. Несоблюдение установленных допусков отклонений и накопление погрешностей затрудняют производство работ, а в процессе последующей эксплуатации зданий и сооружений могут привести к снижению несущей способности и устойчивости отдельных элементов и объекта в целом, и даже к возникновению аварийных ситуаций.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам геодезических измерений при строительстве уникальных зданий и сооружений посвящено много публикаций как у нас в стране, так и за рубежом. Непосредственно геодезическому обеспечению строительных объектов посвящены следующие работы [1, 2, 3, 4, 5, 7]. Но недостаточно работ посвящено методологии расчета и оценки точности геодезических работ [6, 8].

ЦЕЛИ

Проанализировать факторы, влияющие на точность геодезических работ при строительстве уникальных зданий и сооружений. Разработать алгоритм расчета точности геодезических работ при возведении сложных и уникальных сооружений, а также монтаже прецизионного или уникального оборудования.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Обоснование точности геодезических работ при возведении сложных и уникальных сооружений зависит от методов расчета сооружений и технологии строительства, составной частью которой являются геодезические работы.

Точность геодезических измерений может рассчитываться, используя принцип равного влияния независимых источников отдельных погрешностей, когда

$$\sigma_i = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

где n – количество возможных источников погрешностей.

Иногда применяют принцип малого влияния отдельных погрешностей, при котором отдельные строительные процессы выполняются точнее, чем это приведено в расчетах, когда в составе суммарной погрешности этими источниками пренебрегают. Для сложных и уникальных объектов часто применяют вероятностные методы расчета точности с использованием теории размерных цепей, когда составляющие звенья размерной цепи сопровождаются случайными и систематическими погрешностями [1]. Предполагается, что случайные погрешности подчиняются закону нормального распределения, а для составляющих звеньев точность определяется средним квадратическим отклонением σ_{S_i} . Тогда среднее квадратическое отклонение σ_S замыкающего звена $\sigma_S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{S_i}^2}$ будет лежать в пределах доверительного интервала

$$P(S - t_T \sigma_S \leq \bar{S} \leq S + t_T \sigma_S) = p. \quad (2)$$

При P равном 0,95; 0,99 и 0,997 t_T соответственно равно 1,960; 2,567 и 3,000. Предельные величины составляющих звеньев размерной цепи, включающие случайные и систематические погрешности, будут равны

$$P(S - t_T \sigma_S \leq \bar{S} \leq S + t_T \sigma_S) = p, \quad (3)$$

откуда допуск равен

$$\left. \begin{aligned} S_{i_{\max}} &= S_i + \lambda_{S_i} + t_T \sigma_{S_i} \\ S_{i_{\min}} &= S_i - \lambda_{S_i} - t_T \sigma_{S_i} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\sigma_{S_i} = \frac{\Delta S_i}{2t_T}$, а $\lambda_{S_i} = \sum_{i=1}^n \lambda_{S_i}$.

На отдельных этапах геодезического обеспечения строительства сложных сооружений, таких как реакторные отделения АЭС с реакторами ВВЭР-1000, погрешности геодезических измерений могут превышать установленные нормативными документами величины. В этом случае следует выполнять перерасчет составляющих погрешностей, используя коэффициент пропорциональности $K_o = D_N / D_K$, где D_N – дисперсия погрешностей, определенная по нормативным документам, а D_K – дисперсия погрешностей геодезических работ, полученная в процессе расчетов. Для обеспечения условия $D_N = D_K$ расчетная формула принимает вид $\sigma_K^2 = K_o \sum_{i=1}^n \sigma_i^2$, а повторное вычисление составляющих погрешностей этапов геодезических работ осуществляется по формуле

$$\sigma_i = \sqrt{K_o D_i},$$

где i – количество этапов предстоящих работ.

Недостаточное качество изготовления конструкций или формовочного оборудования в значительной мере определяют отклонения геометрических параметров сооружения от их проектных размеров. В таких случаях рациональным можно считать метод расчета, при котором за счет повышения качества изготовления или монтажа строительных конструкций возможно уменьшение допуска на эти операции. При этом точность геодезических разбивочных работ не повышается до того момента, пока точность монтажа не будет приведена в соответствие с точностью измерений.

Сложность расчетов уравнений точности связана с возможным их нелинейным видом, а также с необходимостью определения законов распределения погрешностей в звеньях размерных цепей. В таких случаях с некоторой погрешностью для основных конструктивных элементов возводимого сооружения любые уравнения погрешностей размерной цепи можно представить в линейном виде.

Рассмотрим расчет точности возведения оболочки реакторного отделения с использованием опалубки, учитывая возможное влияние внешних условий на деформации формовочного оборудования. Погрешность монтажа и бетонирования определяется уравнением [2]:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2}, \quad (5)$$

где m_1 – средняя квадратическая погрешность изготовления опалубки;
 m_2 – средняя квадратическая погрешность монтажа опалубки;
 m_3 – средняя квадратическая погрешность перестановки опалубки и бетонирования;
 m_4 – средняя квадратическая погрешность геодезических работ.

Погрешности перестановки опалубки и ее бетонирования носят случайный характер. Также случайный характер носят составляющие этой погрешности: $m_{3,1}$ – средняя квадратическая погрешность вследствие отклонения щитов опалубки от радиуса кривизны и $m_{3,2}$ – средняя квадратическая погрешность, вызванная неперпендикулярностью опалубки.

Погрешности систематического характера возникают из-за деформации опалубки при недостаточной жесткости – $m_{3,3}$; односторонней ветровой нагрузки – $m_{3,4}$; неравномерного солнечного нагрева – $m_{3,5}$; неравномерной осадки фундамента – $m_{3,6}$. Их влияние можно выразить уравнением

$$m_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^n m_{3,i}^2 + \left[\sum_{j=3}^k m_{3,j} \right]^2}, \quad (6)$$

тогда средняя квадратическая погрешность монтажа и возведения оболочки будет равна

$$m_{M_{XY}} = \sqrt{m_{1_{XY}}^2 + \sum_{i=1}^l m_{2_{i_{XY}}}^2 + \sum_{i=1}^n m_{3_{i_{XY}}}^2 + \sum_{q=1}^p m_{4_{q_{XY}}}^2 + \left[\sum_{j=3}^k m_{3j} \right]_{XY}^2}. \quad (7)$$

Средняя квадратическая погрешность геодезических работ m_4 включает:

- среднюю квадратическую погрешность разбивочных работ в плане относительно пунктов опорной геодезической сети или главных осей сооружения $m_{4,1}$;
 - среднюю квадратическую погрешность проектирования пунктов плановой сети или главных осей на монтажные горизонты $m_{4,2}$;
 - среднюю квадратическую погрешность разбивки монтажных осей на фундаментной плите $m_{4,3}$.
- Учитывая независимый характер действия этих погрешностей, их сумма будет равна

$$m_{r_{XY}} = m_{4_{XY}} = \sqrt{\sum_{q=1}^p m_{4_{q_{XY}}}^2},$$

где $p = 4$, $q = 1 \dots p$.

Суммарная погрешность возведения оболочки реакторного отделения будет равна

$$m_{\Sigma_{XY}} = \sqrt{m_{1_{XY}}^2 + \sum_{i=1}^l m_{2_{i_{XY}}}^2 + \sum_{i=1}^n m_{3_{i_{XY}}}^2 + \sum_{q=1}^p m_{4_{q_{XY}}}^2 + \left[\sum_{j=3}^k m_{3j} \right]_{XY}^2}. \quad (8)$$

При наличии корреляционной связи между случайными и систематическими погрешностями, формула (8) примет вид

$$m_{\Sigma_{XY}} = \sqrt{m_{1_{XY}}^2 + \sum_{i=1}^l m_{2_{i_{XY}}}^2 + \sum_{i=4}^n m_{3_{i_{XY}}}^2 + 2 \sum_{m \neq \xi} r_{m_{\xi}} \cdot m_{3_{m_{XY}}} \cdot m_{3_{\xi_{XY}}} + \sum_{q=1}^p m_{4_{q_{XY}}}^2 + \left[\sum_{j=3}^k m_{3j} \right]_{XY}^2}. \quad (9)$$

Характер действия многих погрешностей имеет такую же закономерность, что и при строительстве высотных и сложных сооружений в скользящей опалубке [3]. На основании анализа точности технологических операций, проведенного по материалам возведения дымовых труб, реакторных отделений, можно принять априори следующее соотношение составляющих погрешностей: $m_1 = m_4$; $m_2 = 2m_4$; $m_3 = 3m_4$; $m_{4,i} = m_{4,4}$; $m_{4,2} = 2m_{4,4}$; $m_{4,3} = 2m_{4,4}$. Согласно СНиП 3.03.01-87, допустимое отклонение геометрической оси РО АЭС от вертикали 50 мм, а щитов опалубки от проектного радиуса кривизны – 12 мм. Тогда суммарная погрешность на исходном горизонте будет равна $m_{\Sigma_{X_0Y_0}} = 15/3 = 5$ мм, а на последнем монтажном горизонте $m_{\Sigma_{XY}} = 17$ мм [4].

Суммарная погрешность на исходном горизонте равна

$$m_{\Sigma X_0 Y_0} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_4^2}, \quad (10)$$

Тогда, с учетом величин составляющих погрешностей, формулы (8) и (9) примут вид соответственно

$$m_{\Sigma X_0 Y_0} = m_{4 X_0 Y_0} \sqrt{6} = 2,45 m_{4 X_0 Y_0}, \quad (11)$$

$$m_{\Sigma XY} = m_{4 XY} \sqrt{15} = 3,87 m_{4 XY}. \quad (12)$$

Результаты вычисления составляющих средних квадратических погрешностей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения составляющих средних квадратических погрешностей

H_m	$m_{\Sigma i}$, мм	m_1 , мм	m_2 , мм	m_3 , мм	m_4 , мм	$m_{4.1}$, мм	$m_{4.2}$, мм	$m_{4.3}$, мм	$m_{4.4}$, мм
0,00	5,0	2,04	4,08	–	2,04	–	–	1,80	0,90
67,00	17,0	4,40	8,80	13,2	4,40	1,38	2,76	2,76	1,38
Соотношение погрешностей в %	100	14,3	28,5	42,9	2,4	2,4	4,75	4,75	2,40

Рассмотрим характер влияния погрешностей, входящих в формулу (6).

На вертикальность опалубки, кроме погрешности нивелирования $m_{3.2}$, будут влиять систематические погрешности $m_{3.3}$, $m_{3.4}$, $m_{3.5}$, $m_{3.6}$, имеющие разную закономерность влияния. Приняв для расчетов самое неблагоприятное сочетание, когда векторы влияния направлены в одну сторону, получим их максимальное значение. Часть погрешностей можно получить из нормативных документов, относящихся к формовочному оборудованию и технологии бетонирования. Согласно СНиП 3.03.01-87, предельные местные отклонения радиусов наружной опалубки равны $\sigma_{3.1} = 15$ мм, $m_{3.1} = 5$ мм для труб и $m_{3.2} = 3$ мм для РО АЭС. Недостаточная жесткость опалубки при бетонировании приводит к изменению проектного размера сооружения в виде местных отклонений $\sigma_{3.3} = 15$ мм и $m_{3.3} = 5$ мм. Неравномерная осадка в период бетонирования не превышает 1 мм. Ветровая нагрузка не влияет на сдвиг опалубки из-за жесткости металлического каркаса оболочки, тогда остаточная погрешность, обусловленная влиянием солнечной радиации и других факторов, $m_{3.5} = 6$ мм. В таблице 2 приведены значения всех составляющих средней квадратической погрешности в расчетной модели в процентах.

Таблица 2 – Значения составляющих средней квадратической погрешности в расчетной модели в процентах

H_m	m_3 , мм	$m_{3.1}$, мм	$m_{3.2}$, мм	$m_{3.3}$, мм	$m_{3.5}$, мм	$m_{3.6}$, мм
0,00	–	–	–	–	–	–
0,67	17,0	8,80	13,20	4,40	1,38	2,76
В % к $m_{\Sigma XY}$	42,9	6,2	2,3	14,3	17,2	2,9

Рассмотрим расчет точности геодезических работ, используя принцип ничтожно малого влияния погрешностей. Поставим условие, чтобы погрешности в положении разбивочных осей конструкции были ничтожно малы по сравнению с погрешностями строительного процесса $\delta_{с.п.}$, то есть

$$\delta_r = \frac{\delta_M}{k}, \quad \delta_{с.п.} = \sqrt{\delta_M^2 + \frac{\delta_M^2}{k}}, \quad (13)$$

где δ_M – предельная погрешность монтажа,
 k – коэффициент точности.

После разложения в ряд, получим

$$\delta_{с.п.} = \delta_M + \frac{\delta_M}{k}. \quad (14)$$

При $k = 2$ влияние погрешностей разбивочных работ составляет 12 %, при $k = 3$ – не более 5 %, следовательно, при соответствующем подборе k можно обеспечить условие, при котором $\delta_{с.п} = \delta_M$. Приняв $\delta_{с.п} - \delta_M \leq 0,05\delta_{с.п}$, получим $0,95\delta_{с.п} < \delta_M$ или

$$0,9025\delta_{с.п} \leq \delta_{с.п}^2 - \delta_G^2, \quad \delta_G^2 = 0,0975\delta_{с.п}^2, \quad \delta_G = 0,3\delta_{с.п}, \quad (15)$$

а средняя квадратическая погрешность геодезических работ не должна превышать

$$m_G \leq \frac{\delta_G}{3} = 0,09\delta_{с.п}. \quad (16)$$

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Такой алгоритм расчета точности геодезических работ может применяться при возведении сложных и уникальных сооружений, а также монтаже прецизионного или уникального оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобов, М. И. Геодезическое обеспечение строительства реакторных отделений АЭС с ВВЭР-1000 / М. И. Лобов, В. И. Самойлович. – Текст : непосредственный // Энергетическое строительство. – 1986. – № 10. – С. 54–57.
2. Сердюков, В. И. О точности производства геодезических работ при разбивке главных осей главного корпуса АЭС / В. И. Сердюков. – Текст : непосредственный // Энергетическое строительство. – 1983. – № 10. – С. 47–49.
3. Сытник, В. С. Геодезический контроль точности возведения монолитных зданий и сооружений / В. С. Сытник, А. Б. Ключин. – Москва : Стройиздат. – 1981. – 115 с. – Текст : непосредственный.
4. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции : издание официальное : подготовлены к утверждению управлением стандартизации и технических норм в строительство Госстроя СССР : взамен СНиП III-15-76 ; СН 383-67 ; СНиП III-16-80 ; СН 420-71 ; СНиП III-18-75 ; СНиП III-17-78 ; СНиП III-19-76 ; СН 393-78 : дата введения 1988-07-01 / разработаны ЦНИИОМТП Госстроя СССР ; НИИЖБ Госстроя СССР ; ВНИПИПромстальконструкцией Минмонтажспецстроя СССР [и др.]. – Москва : Стройиздат. – 1988. – 188 с. – Текст : непосредственный.
5. ДБН В.1.3-2-2010. Геодезичні роботи в будівництві : видання офіційне : затверджено та надано чинності наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 21.01.2010 р. № 20 : уведено вперше зі скасуванням на території України СНиП 3.01.03-84 ; чинні від 2010-01-21 / розробники Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ; Київський національний університет виробничий інститут геометричних, механічних та віброакустичних величин ; ВАТ ПТІ «Київоргбуд» ; АТ ХК «Київміськбуд» [и др.]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с. – Текст : непосредственный.
6. Хохлов, Г. П. Методология расчета и оценки точности геодезических измерений с учетом ограничения ошибок контроля параметров возводимых объектов : специальность 05.24.01 «Геодезия» : автореферат диссертации на соискание степени доктора технических наук / Хохлов Геннадий Петрович ; МГУГиК. – Москва, 1994. – 40 с. – Текст : непосредственный.
7. СП 126.13330-2012. Геодезические работы в строительстве : актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : издание официальное : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 635/1 : дата введения 2013-01-01 / исполнители ООО «Тектоплан», ГУП «Мосгоргеотрест», МГУГиК (МИИГАиК), ОАО «ГСПИ». – Москва : Минрегион России, 2011. – 84 с. – Текст : непосредственный.
8. Чмчян, Т. Т. О нормировании точности геодезических работ в высотном крупнопанельном строительстве / Т. Т. Чмчян. – Текст : непосредственный // Инженерная геодезия. – 1973. – Выпуск 13. – С. 53–58.

Получена 30.10.2021

М. І. ЛОБОВ, Т. В. МОРОЗОВА, О. В. ВОЛОЩУК
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ
ЗВЕДЕННІ СКЛАДНИХ І УНІКАЛЬНИХ СПОРУД
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Багатоповерхові збірні і монолітні будівлі, унікальні споруди характеризуються підвищеними вимогами до точності будівельно-монтажних робіт. Особливе місце при будівництві, крім розбивних робіт, займають геодезичні роботи з монтажу і контролю за монтажем конструктивних будівельних елементів споруди. Обґрунтування точності геодезичних робіт при зведенні складних і унікальних споруд залежить від методів розрахунку споруд і технології будівництва, складовою частиною якої є геодезичні роботи. У статті проаналізовано фактори, що впливають на точність геодезичних робіт при будівництві унікальних будівель та споруд, які значною мірою визначають відхилення геометричних параметрів споруди від їх проектних значень. Запропоновано алгоритм розрахунку точності

геодезичних робіт шляхом використання принципу мізерно малого впливу похибок при монтажі складних та унікальних споруд, а також прецизійного чи унікального обладнання.

Ключові слова: розрахунок точності геодезичних робіт, середнє квадратичне відхилення, похибки систематичного характеру.

MICHAIL LOBOV, TATYANA MOROZOVA, OKSANA VOLOSHCHUK
METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ACCURACY OF GEODETIC
WORK IN THE CONSTRUCTION OF COMPLEX AND UNIQUE
CONSTRUCTIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Multi-storey precast and monolithic buildings, unique structures are characterized by high requirements for the accuracy of construction and installation work. A special place in construction, in addition to center work, is occupied by geodetic work on the installation and control of the installation of structural building elements of the building. The justification of the accuracy of geodetic works in the construction of complex and unique structures depends on the methods of calculation of structures and construction technology, of which geodetic works are an integral part. The article analyzes the factors influencing the accuracy of geodetic works during the construction of unique buildings and structures, which largely determine the deviations of the geometric parameters of the structure from their design values. An algorithm is proposed for calculating the accuracy of geodetic works by using the principle of negligible influence of errors in the installation of complex and unique structures, as well as precision or unique equipment.

Key words: calculation of geodetic accuracy, standard deviation, systematic errors.

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

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

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

Лобов Михайло Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексні геодезичні дослідження деформацій висотних споруд баштового типу.

Морозова Тетяна Васи́лівна – старший викладач кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вишукування зрушення земної поверхні та деформації будівель і споруд під впливом підземних гірничих робіт.

Волощук Оксана Володимирівна – старший викладач кафедри інженерної геодезії ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: геодезичний моніторинг проводів і опор ЛЕП при впливі різних факторів.

Lobov Michail – D. Sc. (Eng.), Professor, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex geodetic studies of deformations of tower-type high-rise structures.

Morozova Tatyana – Senior Lecturer, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: investigation of the displacement of the earth's surface and deformations of buildings and structures under the influence of underground mining.

Voloshchuk Oksana – Senior Lecturer, Engineering Geodesy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: geodetic monitoring of wires and poles of power lines under the influence of various factors.