

Научная статья

Original article

УДК 528.482

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_4_187

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ**
**METHODS OF GEODESIC MONITORING OF BUILDINGS AND
STRUCTURES**



Курбанова Лариса Кадыровна, Старший преподаватель, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург

Kurbanova Larisa Kadyrovna, Senior Lecturer, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, larisa1227@yandex.ru

Аннотация. Любое строительство, реставрация, эксплуатация зданий и сооружений подвержено деформационным изменениям, наблюдения за которыми начинаются в период строительства, а в случаях, когда величина деформации воздействует на нормальный технологический процесс, влияющий на прочность строений, наблюдения могут продолжаться весь цикл дальнейшего их использования.

При этом объем и сложность наблюдений, а также требования к точности результатов зависят прежде всего от вида строительных объектов и условий их эксплуатации.

Вследствие конструктивных особенностей сооружений, климатических условий и деятельности человека, строения в целом и их отдельные части могут подлежать разного рода деформациям.

Abstract. The construction, restoration and operation of buildings and structures are subject to deformation changes. The monitoring of which begins at the beginning of construction. If deformations affect the technological process and can affect their strength of buildings, observations can continue the entire cycle of further operation.

The volume and complexity of observations, as well as the requirements for the accuracy of their results, depend primarily on the type of structures of construction objects and their operating conditions.

Structural features of buildings and structures, climatic conditions, human work, affect the deformation of buildings and their structural parts.

Ключевые слова: деформация зданий, геодезические наблюдения, фундамент, гидрологический режим

Keywords: deformation of buildings, geodestic observations, foundation, hydrological regime

Под воздействием природных условий, при непрерывном давлении массы конструкции грунты в основании фундамента испытывают постоянное уплотнение, то есть сжимаются и в процессе эксплуатации конструкции могут испытывать различного рода деформации, что приводит к изменениям в пространственном положении зданий и сооружений.

Помимо нагрузки от собственной массы, осадкой сооружения может являться причина техногенных изменений геологической и гидрогеологической среды (например, в случае непосредственной близости от объекта проводились работы по устройству «нулевого» цикла нового строительства: вскрытие котлована под фундаменты, установка фундаментов, монтаж железобетонных конструкций), вмешательство в гидрологические режимы на участке работ, вскрытие горизонта подземных вод – верховодки. Любые влияния на коренные изменения структуры рыхлых и макропористых грунтов вызывают ускоренную по времени деформацию – просадку [1].

В зависимости от ситуации просадка может иметь: равномерный и неравномерный характер. В первом случае, когда осадка здания происходит равномерно и со временем затухает, существенных влияний на устойчивость и прочность сооружений не происходит. Во втором случае, когда грунты под фундаментом сооружения сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная, осадка носит неравномерный характер и как следствие, вызывает крены объекта, при которых плоскость симметрии здания отклоняется от вертикали [1].

Исходя из сказанного, основная цель геодезических наблюдений – это фиксация начала процесса деформационных изменений, установление причины их появления, составление прогноза дальнейшего развития, разработка мероприятий по предотвращению негативных процессов.

Как правило, точность измерений обозначена специальными нормативными документами - СП [2], в виде средних квадратических ошибок - СКО. В ряде случаев требования относительно точности геодезических измерений можно получить специальными расчетами [3]. Практически все отечественные и зарубежные исследования по нормированию точности геодезических работ, направлены на определение корректного перехода от норм СП к СКО геодезических измерений. Достаточно часто точность геодезических измерений устанавливается путем введения понижающих коэффициентов на такие допуски. Согласно исследованиям Б. Н. Жукова, эти коэффициенты могут находиться в пределах 0,2-0,7. [4]

Исходя из предельно допустимого отклонения геометрических параметров d , СП 126.13330.2017 предписывает выполнять измерения с СКО равной $d:5$, в тоже время в работе В. Н. Ганьшина “Зависимость точности измерений от функциональных допусков” предлагается принимать СКО, характеризуемую величиной $d:6$ [5].

Такой подход не учитывает фактического d_{ϕ} значения отклонений геометрических параметров от их номинального значения. Вследствие этого,

при фактическом отклонении, равном нулю и равном d , требуется одинаковая точность измерений, что, по мнению ряда авторов нецелесообразно. [6]

Значимым вопросом является выявление нужной точности геодезических измерений.

В публикации Шеховцова Г.А. [7] была разработана концепция перехода от допусков СНиП d к допускам на контрольные геодезические измерения d_{ϕ} , с последующим определением необходимой СКО. Суть представления сводится к тому, что для каждого определённого случая необходимо находить критическое значение вычисляемого показателя, которое фиксируется в результатах измерений с определенной степенью надежности.

Обычно точность измерения указана в соответствующей нормативной документации в виде средних квадратичных ошибок СКО. Так, например, по ГОСТ 24846-2019 допустимые ошибки в определении осадок не должны превышать следующие значения:

1 мм – для зданий и сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах и для уникальных зданий, длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации;

2 мм – для зданий и сооружений на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

5 мм – для зданий и сооружений на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах [8].

Для определения понятия «точность измерений деформаций» существуют два фактора. Это может быть, как исходная точность определения самой величины деформации, так и точность непосредственного геодезического измерения. Например, при исследовании осадок можно сказать о неточности определения осадки и ошибке определения превышений в периодах нивелирования.

Вполне очевидно, что если исходные параметры точности известны, то определить параметры измерительных операций достаточно несложно. Для этого нужно выбрать способ и составить схему измерения, а затем выполнить расчеты для оценки проекта, из которых и определяется точность искомой точности.

Исходную точность можно определить при решении двух задач деформационного измерения, которые возникают в практике: выявление аварийных ситуаций, в которых деформации могут достигать расчетного критического значения, и последовательного в течении времени описания самого деформационного процесса.

В первом случае основой расчета является критическая допустимая величина деформации, взятая из соответствующего нормативного документа (например, СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений») или из проекта [9].

Разумно было бы потребовать, чтобы средняя квадратическая ошибка определения критической величины деформации $\Phi_{кр}$ не превышала множества (1):

$$m\Phi_{кр} \leq \Phi_{кр} / 2t\beta, \quad (1) [8]$$

где $m\Phi_{кр}$ - средняя квадратическая ошибка определения критической величины деформации;

$\Phi_{кр}$ - критическая величина деформации;

$t\beta$ - нормированный коэффициент, зависящий от вида распределения и уровня доверительной вероятности.

Как правило, закон распределения ошибок геодезических измерений близок к нормальному, а доверительная вероятность для подобного рода ответственных работ принимается равной 0,997, тогда $t\beta=3$,

$$m\Phi_{кр} \leq 0,17\Phi_{кр} \quad (2)$$

Принципы разработки методики измерений.

Под методикой геодезических наблюдений понимается взаимосвязь действий, из которых состоит процесс измерения параметра, выбранного в

качестве единицы веса, и ограничений, выполнение которых при измерениях и обработке результатов приведет к ослаблению влияния отдельных источников ошибок на ошибку единицы веса. Кроме того, в определение методики входят требования к выбору приборов и приспособлений для измерений, к условиям измерений, к конструкции и устойчивости исходного репера, методу обработки, уравниванию и оценке точности результатов измерений. Также устанавливаются рабочие допуски на отдельные процессы измерений, позволяющие выделить доброкачественные и отбраковать грубые результаты.

Для разработки методики в качестве исходной рассматривается предвычисленная по результатам оценки проекта сети - величина μ - средняя квадратическая ошибка выбранной единицы веса (вспомогательное число, которое равно средней квадратической ошибке такого измерения, вес которого равен 1). Чтобы уверенно определить эту ошибку, необходимо знать основные источники составляющих ошибок, закон накопления ошибок, а также степень влияния каждого источника.

Выявить меру воздействия каждого источника ошибок можно разными путями. Наиболее простой путь - применение принципа равных влияний всех известных источников ошибок. При условии, что ошибки случайны, а число их равно n , на долю каждой придется величина, равная $m' = \mu / \sqrt{n}$

Однако некоторые источники ошибок могут существенно влиять на окончательный результат измерений, и разрабатываемые меры их ослабления технически сложны, влияние других источников может быть несложными действиями ослаблено до пренебрегаемо малых величин. Если обозначить часть ошибки μ , обусловленную совокупным влиянием первых (основных) источников ошибок, через m_1 , а вторых (второстепенных) - через m_2 , то можно написать

$$\mu = m_1 + m_2, \quad (3)$$

где μ - средняя квадратическая ошибка выбранной единицы веса;

m_1 - основные источники ошибок;

m_2 - второстепенные источники ошибок.

Для того, чтобы $\mu \approx m_1$, надо поставить условие:

$$m_2 \leq \mu/K, \quad (4)$$

где K - число, показывающее во сколько раз, величина m_2 должна быть меньше m_1 , чтобы ею практически можно было пренебречь.

Коэффициент K определяется по степени жесткости предъявляемых требований к точности и чувствительности обследуемого объекта к деформациям.

В технической литературе число K принимают равным от 2 до 10. Для столь ответственных работ, какими являются наблюдения за деформациями сооружений, оптимальным признается $K=5$.

При разработке методов измерений, анализируя источники ошибок, ориентируются прежде всего на основные ошибки. В этом случае доля m'_1 каждого из них, носящего случайный характер, должна быть ограничена величиной:

$$m'_1 \leq \frac{\mu}{K} \sqrt{\frac{K^2-1}{n_1}}, \quad (5)$$

где m'_1 - доля источника случайных ошибок;

n_1 - число основных источников ошибок измерений.

Что касается второстепенных источников ошибок случайного характера, влиянием которых желательно пренебречь, то их доля ограничивается критерием (4).

Следует отметить, что деление на основные и второстепенные источники ошибок - условное. В практике исходят из разумной технической возможности ограничения или пренебрежения тем или иным источником ошибок измерений, проверяя в первую очередь возможность пренебрежения.

Ошибки систематического характера стараются свести до пренебрегаемого минимума. Это означает, что их суммарное влияние не должно превышать критерия (4), но в силу характера их накопления

целесообразно потребовать, чтобы величина λ каждой из общего числа n_2 ограничивалась выражением:

$$\lambda \leq \mu / (K n_2), \quad (6)$$

где λ - величина ошибки систематического характера;

n_2 - общее число систематических ошибок.

При определении параметров методики может возникнуть необходимость в расчете допустимых величин, рассчитанных по формулам (4) и (6). Для этого случая используются предельные величины ошибок, равные:

$$\Delta_2 = 3m_2 \text{ и } \Delta'_1 = 3m'_1 \quad (7)$$

где Δ_2 - величина предельной второстепенной ошибки;

Δ'_1 - величина предельной доли источника случайной ошибки.

Принцип решения задачи, рассмотрен на характерных примерах определения параметров методики для случая применения метода высокоточного геометрического нивелирования.

Пример. Ошибка превышения, возникающая от несоблюдения главного условия нивелира и из-за неравенства плеч ΔD при взгляде на заднюю и переднюю рейки, выразится формулой:

$$\Delta i = (i'' / \rho) \Delta D, \quad (8)$$

где Δi - ошибка превышения;

i'' - Угол между проекциями на вертикальную плоскость визирной оси и оси цилиндрического уровня по абсолютной величине;

ΔD - неравенства плеч при взгляде на заднюю и переднюю рейки;

$\rho = 206265''$.

Решая это уравнение относительно ΔD , для $i = 20''$, $\Delta_2 = 0,12$ мм и $\Delta'_1 = 0,18$ мм будем соответственно иметь:

$$\Delta D \leq 0,12 * 206265'' / 20'' = 1,2 \text{ м};$$

$$\Delta D \leq 0,18 * 206265'' / 20'' = 1,8 \text{ м}.$$

На основе этого расчета следует рекомендация по неравенству расстояний от нивелира до реек, причем в обоих случаях - легко достижимая.

Проведенный анализ способов измерений и анализ получаемой точности, при геодезическом мониторинге, формирует потребность в необходимости подробного изучения отдельных составляющих, чтобы выбранный метод был наиболее достоверным для достижения поставленных задач.

Несмотря на существование множества сложившихся способов определения осадок зданий, регулярно применяемых как при возведении конструкций, так и при их эксплуатации и реконструкции, установление необходимой точности геодезических измерений все ещё является важным вопросом.

Список источников

1. Зассеев А.А. Изучение осадок и кренов сооружений геодезическими методами//Научные исследования и разработки молодых ученых. 2016. №9-1. С.131-135.
2. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. 2017 – Москва: Стандартинформ, 2017 – 73 с.
3. Шеховцов Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография; / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т –Н.Новгород: ННГАСУ, 2009 – 156 с.
4. Жуков Б.Н. Нормирование точности геодезических измерений при возведении сооружений, монтаже оборудования и контроле за их состоянием // Изв. вузов. Серия Геодезия и аэрофотосъемка. – 1983. – № 4. – С. 28 – 35.
5. В.Н.Ганьшина (Зависимость точности измерений от функциональных допусков // Изв. вузов. – 1980, – №4. – С. 36–37.
6. Раскаткин Юрий Николаевич Геометрические методы определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций 2016

7. Шеховцов Г.А. О точности геодезических наблюдений за осадками сооружений // Промышленное строительство. – 1973, – № 10. – С. 46.
8. ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений: 2020. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
9. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений: 2017 – Москва: Стандартинформ, 2016 – 228 с.
10. Практикум по прикладной геодезии. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений: Учеб. пособие для вузов / Е.Б. Ключин, Д.Ш. Михелев, Д.П. Барков и др. - М.: Недра, 1993. - 368 с.: ил.

Referents

1. Zaseev A.A. The study of sediment and heels of structures by geodetic methods // Scientific research and development of young scientists. 2016. No. 9-1. pp.131-135.
2. SP 126.13330.2017. Geodetic works in construction. 2017 - Moscow: Standartinform, 2017 - 73 p.
3. Shekhovtsov G. A. Modern geodetic methods for determining the deformations of engineering structures: monograph; / G.A. Shekhovtsov, R.P. Shekhovtsova; Nizhny Novgorod. state architect.-builds. un-t -N.Novgorod: NNGASU, 2009 - 156 p.
4. Zhukov B.N. Rationing of the accuracy of geodetic measurements during the construction of structures, installation of equipment and control over their condition. Izv. universities. Series Geodesy and aerial photography. - 1983. - No. 4. - S. 28 - 35.
5. V.N. Ganshina (Dependence of measurement accuracy on functional tolerances // Izv. Universities. - 1980, - No. 4. - P. 36–37.
6. Raskatkin Yuri Nikolaevich Geometric methods for determining the parameters of the spatial position and shape of building structures 2016
7. Shekhovtsov G.A. On the accuracy of geodetic observations of the settlements of structures // Industrial construction. - 1973, - No. 10. - P. 46.

8. GOST 24846-2019. Soils. Methods for measuring deformations of the foundations of buildings and structures: 2020. - Moscow: Standartinform, 2019. - 15 p.

9. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures: 2017 - Moscow: Standartinform, 2016 - 228 p.

10. Workshop on applied geodesy. Geodetic support for the construction and operation of engineering structures: Proc. allowance for universities / E.B. Klyushin, D.Sh. Mikhelev, D.P. Barkov and others - M.: Nedra, 1993. - 368 p.: ill.

Для цитирования: Курбанова Л.К. Анализ методов геодезического мониторинга зданий и сооружений // Московский экономический журнал. 2023. № 4. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-4-2023-45/>

© Курбанова Л. К., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 4.