

УДК 528.31/.35

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ И МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА НИМИ

ANALYSIS OF BUILDING'S DEFORMATION AND METHODS OF OBSERVATION THEM

**Тимченко О.Н., к.т.н., доц., (Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет)**

**Tymchenko O.N., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
(Kharkov National Automobile and Highway University)**

Проведен анализ видов деформаций сооружений и методов геодезических наблюдений за ними. Установлено, что величина и знак относительной деформации и ее распределение по профилю позволяют сделать заключение о причинах явления, осуществить прогноз их развития и разработать защитные мероприятия.

The analysis of building's deformations types and methods of the geodesic monitoring is conducted them. It is set that a size and sign of relative deformation and her distribution on a profile allow to conclude about reasons of the phenomenon, to carry out the forecast of their development and work out protective measures.

Ключевые слова: деформация, перемещение, геодезическое наблюдение, горизонтальная и вертикальная плоскость.

Keywords: deformation, displacement, geodesic monitoring, horizontal and vertical plane.

С целью контроля за изменением пространственного положения ответственных и экспериментальных сооружений применяются специальные геодезические наблюдения. Наблюдения за вертикальными перемещениями объекта производятся при помощи точного нивелирования, приемы и методы которого достаточно полно освещены в специальной литературе [1, 2]. Для наблюдения за горизонтальными перемещениями в литературе [1, 2] рекомендуется створный метод и метод триангуляции, которые

отличаются трудоемкостью, поэтому для оперативного контроля за состоянием отдельных зданий они не применяются.

Актуальность вопросов деформации сооружений и инструментального контроля за ними не вызывает сомнений. Однако в специальной и учебной литературе эти вопросы не получили должной проработки и освещения, повсеместно встречаются ошибочные толкования в определении элементов перемещения и деформаций и другие несоответствия с теорией деформирования твердого тела. Например, в книге [1] «Инженерная геодезия» для строительных специальностей на стр. 459 дается такое определение понятия деформации: «Изменения в пространственном положении сооружения называются деформациями, в горизонтальной плоскости – сдвигами, а в вертикальной – осадками».

Как известно, изменения в пространственном положении сооружения еще не деформация. Это может быть простое поступательное перемещение (смещение) без каких-либо деформации. Точно так же перемещение в горизонтальной плоскости – это еще не сдвиг. Сдвиг – это особый вид деформации, когда наблюдается изменение угловых элементов сооружения. Осадки в вертикальной плоскости – это тоже еще не деформация, чаще всего это просто перемещение по вертикали за счет уплотнения грунтов.

В другой книге [3] на стр. 234 сказано: «Сущность фотограмметрических методов измерения деформаций заключается в периодической фототеодолитной съемке сооружений и сравнении координат его точек $X_0Y_0Z_0$ и $X_iY_iZ_i$, определенных соответственно в периоды начального и текущего цикла наблюдений. Для измерения деформации только в вертикальной плоскости сооружение фотографируется с одной установки прибора. В этом случае боковой сдвиг точки ΔX , т.е. смещение ее в плоскости, перпендикулярной оси камеры, и осадка ΔZ вычисляются по формулам...».

В этом тексте несколько принципиальных ошибок:

1. При периодическом определении пространственных координат точки фотограмметрическим методом измеряется не деформация, а вектор перемещения точки.

2. В вертикальной плоскости измеряется не деформация, а опять же перемещение точки.

3. X – это не боковой сдвиг точки, а смещение ее по горизонтальному направлению. Сдвиг – это особый вид деформации тела и в приложении к точке смысла не имеет.

В специальной литературе [2] повсеместно наблюдается отождествление деформаций с оседаниями. На стр. 5 сказано: «Деформация оснований и сооружений характеризуется:

а) абсолютной (полной) осадкой отдельных точек фундамента, получаемой в результате измерений...».

Деформация оснований не может характеризоваться абсолютной (полной) осадкой отдельных точек. Оседание точек может быть весьма значительное, а деформация минимальная. И, наоборот, деформации могут достигнуть разрушающих значений при сравнительно небольших оседаниях.

Далее в табл. 1 на стр. 14-15 в качестве критерия сохранности зданий и сооружений приводится максимальная величина абсолютной осадки от 8 до 40 см, что также неравномерно. В качестве критерия сохранности зданий и сооружений следует принимать величину относительной вертикальной деформации, а не оседание. Оседание Пизанской башни за 800 лет составило 320 см [2], но аварийность ее состояния определяется величиной наклона, а не величиной оседания.

В 1987 г. вышло «Справочное пособие по прикладной геодезии» [4]. В разделе «Наблюдения за деформациями сооружений» повторяются рассмотренные выше ошибки, поэтому обратим внимание только на новые – оригинальные.

На стр. 329 имеет место такая фраза: «Ф – столбец измеренных деформаций». Фактически здесь речь идет об измеренных значениях смещений, а не деформаций. Деформации не измеряются, а вычисляются по измеренным смещениям точек.

На стр. 335: «Однако для всех видов характерным является постоянно схемы измерений и необходимость получения в конечном итоге не самих координат деформационных точек...». Здесь неоправданно вводится новое понятие «деформационная точка». Точка может быть наблюдаемая, смещаемая, но не деформационная, так как точка не деформируется, а только перемещается.

Приведенные примеры ошибочных представлений и формулировок характерны для геодезической литературы, поэтому целесообразно детально рассмотреть элементы перемещений и

деформаций, а также методы их определения применительно к задачам геодезических наблюдений за состоянием инженерных сооружений.

Деформация буквально означает изменение формы. Главные виды деформации: растяжение, сжатие, сдвиг, кручение, изгиб. Математически деформация означает производную от функции смещения, т.е.

$$\varepsilon_X = \frac{\partial u}{\partial X}; \quad \varepsilon_Y = \frac{\partial v}{\partial Y}; \quad \varepsilon_Z = \frac{\partial \omega}{\partial Z},$$

где u , v , ω – компоненты смещения точек твердого тела соответственно вдоль осей X , Y , Z .

В практике маркшейдерских инструментальных наблюдений за состоянием зданий и сооружений принято оперировать вертикальными деформациями (наклоны, кривизна) и горизонтальными деформациями на интервале (растяжение, сжатие) в двумерном пространстве. Вертикальная деформация (наклон) является первой производной от функции оседания и определяется по разности оседаний конечных точек интервала, отнесенной к его длине.

Второй вид вертикальной деформации – кривизна – характеризует неравномерность наклонов на интервале и вычисляется как вторая производная от оседаний или первая производная от функции наклонов.

Горизонтальная деформация растяжения означает относительное удлинение интервала, вычисляется по разности смещений конечных точек интервала в горизонтальной плоскости, отнесенной к его длине. Горизонтальная деформация сжатия означает относительное сжатие интервала, вычисляется аналогичным образом, но имеет обратную направленность и поэтому обозначается знаком «минус».

Как известно, в процессе строительства и эксплуатации инженерных сооружений происходит относительная деформация (сжатие) подстилающих грунтов, а следовательно, перемещение сооружения в вертикальной плоскости, т.е. осадка здания. Осадка здания может развиваться и без деформации сооружения, если все точки объекта переместились в вертикальном направлении на одну и ту же величину. Однако в практике строительства из-за

невыдержанной мощности грунтов, неравномерного распределения нагрузки и по ряду других причин сжатие грунтов происходит неравномерно по площади основания. В результате наблюдается неравномерное оседание точек фундамента. Неравномерное оседание сопровождается возникновением относительной вертикальной деформации (наклона) на интервале, который рассчитывается по формуле (1).

В большинстве случаев вертикальные деформации не достигают критических значений и поэтому вредного влияния на сооружения не оказывают.

Смещение объекта в горизонтальной плоскости в практике называют сдвигом, но, по существу, если все точки объекта переместились в горизонтальном направлении на одинаковую величину, то это тоже поступательное горизонтальное перемещение без наличия горизонтальных деформаций.

В общем случае, если все точки объекта в пространстве переместились на одну и ту же векторную величину \vec{u} , то о каких-либо относительных деформациях сооружения говорить не приходится – их нет, имеет место простое поступательное перемещение всего сооружения в целом.

Вертикальные или горизонтальные деформации на интервале возникают только в том случае, когда конечные точки этого интервала перемещаются на разные величины \vec{u}_1 и \vec{u}_2 (рис. 1).

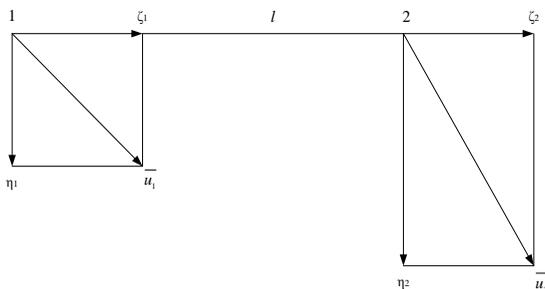


Рис. 1

В этом случае, раскладывая векторы перемещения на горизонтальные и вертикальные составляющие, получаем элементы

перемещения этих точек в горизонтальной (ζ_1 и ζ_2) и вертикальной (η_1 и η_2) плоскостях.

Вертикальная деформация (наклон) на интервале l_{1-2} определяется по формуле:

$$i_{1-2} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{l_{1-2}}, \quad (1)$$

где i_{1-2} – относительная вертикальная деформация (наклон), $1 \cdot 10^{-3}$; η_2 – величина оседания в точке 2, мм; η_1 – величина оседания в точке 1, мм; l_{1-2} – длина интервала между точками, м. Горизонтальные деформации (растяжение, сжатие) интервала определяется по формуле:

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{\zeta_2 - \zeta_1}{l_{1-2}}, \dots\dots\dots(2)$$

где ε_{1-2} – относительная горизонтальная деформация на интервале («+» растяжение, «-» сжатие), $1 \cdot 10^{-3}$; ζ_2 – величина горизонтального перемещения точки 2, мм; ζ_1 – величина горизонтального перемещения точки 1, мм; l_{1-2} – длина интервала между точками 1 и 2, м.

Критическая величина относительной горизонтальной деформации растяжения, при которой появляются трещины в кирпичной кладке фундамента и стен здания, определена экспериментально и составляет $2 \cdot 10^{-3}$.

Применяя обычные геодезические методы наблюдений, вектор сдвижения точек получить непосредственно не удастся. Но его можно построить на основе составляющих элементов в двух взаимно нормальных направлениях. Вертикальная составляющая определяется методом нивелирования, а горизонтальная – в результате периодического измерения горизонтальных расстояний по створу, ориентированному вдоль здания. Реперы (стенные и грунтовые) закладываются параллельно в виде профильных линий вдоль здания с интервалом 20 м (рис. 2).

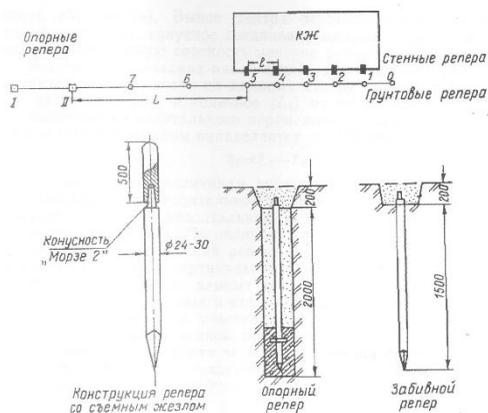


Рис. 2

Грунтовые реперы для сохранности забиваются ниже уровня земной поверхности и располагаются напротив стенного на расстоянии 2 м. Стенные реперы закладываются на высоте 0,5 – 1 м от земной поверхности и бетонируются на глубину 0,2 м.

Наблюдения за горизонтальным перемещением реперов вдоль створа ведутся путем периодических измерений расстояний от 2-3 опорных реперов, расположенных в створе и вне зоны возможного влияния изучаемого процесса. Расстояния от опорных реперов до рабочих (стенных и грунтовых) измеряют по центрам стальной компарированной рулеткой или специальной мерной проволокой при постоянном натяжении, одновременно фиксируется температура воздуха. Линейные измерения проводятся на весу в прямом и обратном направлении. Расхождение в длине интервала, измеренного дважды, допускается не более 2 мм, что обеспечивает точность 1/1000.

В качестве грунтовых реперов рекомендуется использовать металлические стержни ($\varnothing 24-30$ мм) длиной 1,5-1,8 м. Нижний конец репера заострен, а верх заточен на конус (конусность «Морзе 2»). Вынос центра осуществляется при помощи съемных жезлов, конусное соединение которых с репером обеспечивает необходимую соосность центров репера и жезла.

В ходе периодических наблюдений за положением репера в горизонтальной плоскости по данному створу получают его начальное расстояние L_0 и конечное L_i от опорного репера.

Величина горизонтального перемещения репера между начальным и текущим циклом определяется по формуле:

$$\zeta_i = L_i - L_0. \quad (3)$$

По измеренным величинам перемещений соседних реперов вертикальном и горизонтальном направлениях определяются вертикальная i_i и горизонтальная ε_i деформации на интервале (формулы (1) и (2)). По величине вертикального η_i и горизонтального ζ_i перемещения репера определяется его вектор сдвижения \overline{u}_i в данной вертикальной плоскости.

Анализ полученных данных и сравнительная величина векторов сдвижения грунтовых и ственных реперов в комплексе с геологическими данными на участке позволяет сделать заключение о причинах сдвижения земной поверхности и объекта: происходит ли обычная осадка здания за счет уплотнения грунтов или имеет место недостаточная конструктивная прочность здания и местная просадка на ослабленных грунтах, влияние карстовой полости или оползневый сдвиг участка поверхности. Величина и знак относительной деформации и ее распределение по профилю позволяют сделать заключение о причинах явления, осуществить прогноз их развития и разработать защитные мероприятия. Наличие, например, горизонтальных положительных деформаций, нарастающих во времени, свидетельствуют о развивающемся оползне, а чередование знакопеременных деформаций в определенной последовательности свидетельствуют о наличии полости в массиве. Эти вопросы требуют специального освещения.

Література:

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Под ред. П.С. Закатова. – М.: Недра, 1976. – 583 с.
2. Ганьшин В.И. Изменение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов / В.И. Ганьшин В.И., А.Ф. Стороженко, Н.А. Буденков. – М.: Недра, 1984. – 188 с.
3. Багратуни Г.В. Инженерная геодезия / Г.В. Багратуни. – М.: Недра, 1984. – 344 с.
4. Справочное пособие по прикладной геодезии / Под ред. В.Д. Большакова. – М.: Недра, 1987. – 543 с.