

Анализ вертикальных высотных

деформаций сооружений — ключ к познанию их причин

Высотные сооружения, прежде всего объекты башенного типа, являются одним из самых ответственных типов сооружений. При проведении строительно-монтажных работ, особенно в первые месяцы после их окончания, а также в дальнейшем время, даже через 10–20 лет, высотные сооружения могут испытывать деформации, связанные с влиянием различных неблагоприятных факторов. Кроме того, деформации могут проявиться из-за некоторых конструктивных особенностей зданий и сооружений. Часто возникает необходимость проведения инженерно-геодезических исследований на таких объектах. На особо ответственных сооружениях высотой 200 и более метров — теле- и радиовышках, трубах АЭС, ТЭЦ, цементных и металлургических заводов, гранулярных башнях — измерения деформаций должны проводиться постоянно.

Но бывают также случаи, когда наблюдения за деформациями высотных сооружений проводятся из-за того, что величины осадки сооружений превышают проектные значения, неожиданно проявляются определенные внешние факторы, например изменяются свойства грунтов, происходят изменения уровня грунтовых вод и т. п. Причем это может касаться не только башенных сооружений, но и многоэтажных жилых и офисных зданий, которые возводятся сегодня в крупных городах в целях экономии места.

В этой статье рассматриваются в основном принципы наблюдения за вертикальными перемещениями башенных сооружений и кренами, возникшими вследствие этих движений. Некоторые данные могут пригодиться и для расчетов вертикальных перемещений высотных зданий.

Расчет конечной осадки

Факторы, влияющие на величину осадки здания, — это нагрузки, обусловленные массой здания или сооружения, фундамента и «дополнениями» (архитектурными элементами, оборудованием, которое находится в здании или смонтировано на башенном сооружении). При этом масса объекта во время строительства постоянно изменяется. Расчет

конечной осадки может выполняться методом эквивалентного слоя или постоянного суммирования.

Метод эквивалентного слоя

Находят мощность эквивалентного слоя h_e :

$$h_e = A\omega b,$$

где $A\omega$ — коэффициент эквивалентного слоя, b — ширина фундамента.

Конечная осадка S_F вычисляется по формуле:

$$S_F = h_e \alpha_{sp} P_D$$

где α_{sp} — коэффициент относительной сжимаемости грунта, P_D — дополнительное давление.

$$\alpha_{sp} = \frac{1}{2h_e^2} \sum_{i=1}^n h_i \alpha_i z_i,$$

где h_i — мощность i -го слоя в пределах активной зоны $H = 2h_e$; α_i — коэффициент относительной сжимаемости i -го слоя; z_i — расстояние от основания активной зоны до середины i -го слоя.

Рассчитать дополнительное давление, как известно, можно, исходя из объемного веса грунта γ в пределах глубины h ; h — глубина залегания фундамента и P_H — среднее давление на подошву фундамента:

$$P_D = P_H - \gamma h.$$

Метод постоянного суммирования

В этом случае для расчета конечной осадки используют формулу:

$$S_F = 0,8 \sum_{i=1}^n h_i \frac{1}{E_{oi}} P_i,$$

где $P_i = \frac{1}{2}(P_{zi} + P_{z(i+1)}),$

$$P_z = \alpha P_D$$

Условные обозначения: P_z — нормальное напряжение, α — коэффициент, зависящий от размеров подошвы фундамента; E_{oi} — модуль деформации i -го слоя, n — число слоев, на которые разбивают активную зону. Для моделирования осадки во времени ее аппроксимируют экспонентой.

В упругой стадии основание описывается коэффициентом постели (коэффициентом Винклера C), растущим линейно с глубиной и различным для участков стены выше и ниже уровня дна котлована. В сложных ситуациях можно применить расчет осадки с помощью этого коэффициента:

$$S_F = \frac{1}{C} \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\Phi},$$

где $\sum_{i=1}^n P_i$ — сумма вертикальных сил,

Φ — площадь основания фундамента.

В результате неоднородных свойств основания, характеризующихся главным образом коэффициентом Винклера и модулем упругих деформаций, а также в результате воздействия на основание техногенных

факторов может происходить неравномерная осадка, приводящая к крену сооружения. По этим же причинам и из-за действия значительных нагрузок могут происходить прогибы фундаментных конструкций, существенно отличающиеся от расчетных. В практике строительства высотных сооружений и конструкций башенного типа известны случаи, когда в результате прогибов образовывались трещины, что приводило к разрушениям. Поэтому в отдельных ситуациях возникает необходимость осуществления натурных наблюдений за прогибами фундаментных балок и плит.

Известно, что осадка зависит от типа горных пород. Приведем графики «время — осадка», «нагрузка — осадка» для различных грунтов, заимствованные из книги М. Д. Бикташева о башенных сооружениях * (см. рисунок).

Производство геодезических измерений

Перед производством работ по наблюдению за осадками зданий согласно полученному проекту производится закладка наблюдательных марок, а также глубинных реперов. Наблюдение за осадками производится при помощи высокоточного нивелирования (II класс точности). Технология производства наблюдений предусматривает выполнение циклических измерений.

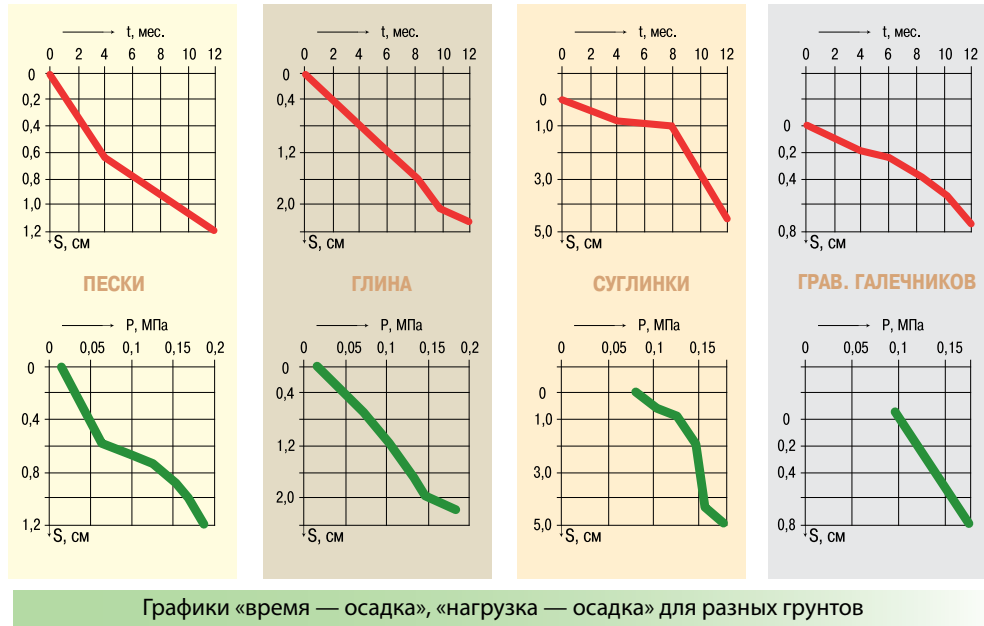
Нивелирование II класса осуществляется нивелирами Н-05, Н-05К и равноточными им. Нивелирование выполняется по рейкам с инварной полосой способом совмещения по одной паре костылей в прямом и обратном направлениях. Во многих случаях хорошо зарекомендовала себя подвесная рейка с инварной полосой. При производстве работ необходимо учитывать влияние состояния атмосферы. Если производится мониторинг состояния промышленных сооружений, например дымовых труб, печей, колонн и т. п., всегда нужно учитывать возможность их нагрева, ведь по ним может циркулировать газоздушная смесь, нагретая до 200-400°, и деформации, вызванные температурным расширением**. Выбор реек при таких работах — не менее важная задача, чем настройка нивелиров и обустройство реперов.

Есть опыт использования электронных нивелиров, в частности, *Sokkia SDL-30M* и *DINI* фирмы *Trimble*. В процессе работы результаты выводятся на экран и сохраняются в памяти прибора, а внутреннее программное обеспечение дает возможность на месте решить некоторые задачи, в частности вычислить отметки, и избежать случайных ошибок.

Нивелирная сеть на объекте представляет собой множество отдельных фигур, опирающихся на реперы высотного обоснования и включающих в себя самостоятельные сооружения. Уравнивается каждая фигура отдельно. Это удобно: при необходимости можно сделать выборочный повтор наблюдений по конкрет-

* Бикташев М.Д. Башенные сооружения. Инженерный анализ осадки, крена и общей устойчивости положения. — М., 2006.

** Пособие по производству геодезических работ в строительстве. — СНИП. 3.01.03-84.



ному сооружению. Нивелировка по осадочным маркам проводится в прямом и обратном направлении на улице и при двух горизонтах внутри помещений.

Для измерения крена используются методы прямого и обратного отвеса, проецирования, а также наземные фотограмметрические измерения. При измерении кренов фундамента (здания, сооружения) методом проецирования следует применять теодолиты, снабженные накладным уровнем, или приборы вертикального проецирования.

Согласно СНиП, предельные погрешности измерения крена в зависимости от высоты H наблюдаемого здания (сооружения) не должны превышать величин, мм, для:

- гражданских зданий и сооружений 0,0001 H ;
- промышленных зданий и сооружений 0,0005 H ;
- труб, доменных печей, мачт, башен 0,0005 H ;
- фундаментов для машин и агрегатов 0,00001 H .

Используя опыт проведенных работ, можно сказать, что особые сложности возникают при измерении вертикальных перемещений на объектах, где такие работы не велись уже продолжительное время. Часто грунтовые или глубинные реперы, применяющиеся для инженерно-геологических работ в городах, а особенно на промышленных предприятиях, электростанциях и т. п., имеют условные отметки, а исходные пункты высотной геодезической основы или неизвестны, или утеряны.

Причины вертикальных деформаций и кренов

Если говорить исключительно о вертикальных деформациях и кренах, то они, за редким исключением, определяются только неравномерностью осадки. С позиций строительной механики крен определяется жестким поворотом фундамента. Критическое значение крена соответствует предельному приближению и выходу проекции геометрического и фи-

зического центра тяжести за пределы диаметра ядра сечения нижнего основания.

Большая и опасная деформация, наклоны зданий и сооружений часто проявляются при неравномерной осадке в случае расположения их на наклонной плоскости. Сходные случаи также возможны, когда в разных частях основания сооружения залегают грунты с различными механическими или физико-химическими свойствами.

Очень большое значение имеет уровень грунтовых вод. При повышении этого уровня возможно «всплывание» фундамента, то есть жесткий поворот, приводящий к крену. При этом, если положение центра тяжести подошвы не зависит от величины наклона фундамента и уровня грунтовых вод, то положение точки, известной как «центр давления», находится в существенной зависимости от последнего, так как $P = \gamma \times h_c \times \Phi$, где h_c — глубина погружения центра тяжести фундамента.

Причинами осадок и кренов могут быть также неудачное проектное решение по типу фундамента, изменение состояния грунтов в основании вследствие природных процессов и непродуманной хозяйственной деятельности.

В данной статье для высотных зданий и сооружений рассмотрен лишь один аспект геодезического мониторинга — измерение и выявление причин вертикальных перемещений и кренов. Еще более интересным, но вместе с тем и сложным вопросом является измерение и оценка горизонтальных перемещений и искривления высотных зданий и башенных конструкций. В таких случаях имеют значение и сила ветра, и неравномерный нагрев разных частей здания, и качество выполнения строительномонтажных работ — но это уже тема для отдельной статьи.

Федор Васищев