

Мониторинг зданий и котлованов



Карло Альберто АЙМЕ, компания SISgeo SRL (Италия)

Рассматриваются методы и средства конструкционно-геотехнического мониторинга зданий и котлованов.

1. Основные принципы системы мониторинга

Постройка здания значительных размеров, неизбежно вступающего в антагонистическое противоречие с городским пространством и его геологическим основанием, должна предусматривать контроль:

- фундамента (котлован, грунтовый массив) (рис. 1);
- надземных частей здания (рис. 2);
- соседних зданий.

Главная цель системы мониторинга на этапе строительства – это контроль соответствия (верификация) геотехнических и конструктивных параметров строительства проектным допущениям. В дальнейшем система позволяет оценивать эксплуатационные характеристики сооружения.

Первостепенное значение имеет определение параметров и устройства для мониторинга и включение системы в план на стадии конструкционного проектирования. Конструкционно-геотехнический мониторинг должен считаться неотъемлемой частью работы по проектированию, в работах по реализации строительства, обеспечивать эксплуатационную надежность сооружения.

2. Определение параметров измерения

Геотехнические параметры зависят от особенностей геологии и гидрогеологии каждого конкретного места (от типологии грунта под фундаментом, наличия грунтовых вод и влияния естественных или наве-

денных потоков фильтрации), а также от проектных характеристик, касающихся земляных работ, возведения опорных конструкций и фундамента.

Что касается конструктивных параметров, то они связаны с напряженно-деформационным состоянием надземной структуры, являющимся функцией не только приложенных нагрузок, но и осадочных искривлений фундамента.

Проект и надежность сооружения тем полнее, чем больше параметров будет возможно измерять и наоборот. Комплекс параметров, подлежащих измерению:

Для высотного здания (грунт и фундамент)

- уровни воды;
- давление и избыточное промежуточное давление;
- усилие на опорных конструкциях основания и инженерной защиты;
- нагрузки на элементах жесткости (стяжки, стойки);
- общая и дифференциальная осадка фундамента;
- усилия и деформации в бетоне и в арматуре фундамента;
- поверхностные и глубинные смещения грунта.

Для высотного здания (надземная его часть)

- усилия и деформации в бетоне и в арматуре несущих элементов;
- смещение несущих элементов, отклонение от вертикали;
- ротационные движения стенок здания.

Для соседних зданий

- поверхностные и глубинные сдвиги грунта;
- смещение, деформация конструкций;
- ротационные движения стенок конструкции.

После определения контрольных параметров, которые, по мнению архитектора, характеризуют стабильность сооружения, проектировщик должен параллельно выбрать и указать типологию и количество приборов контроля, предусмотрев таким образом их установку в соответствии с планом строительства.

3. Выбор приборов

Для замеров каждого из вышеуказанных параметров имеются в наличии несколько типологий (модификаций) приборов; проектировщик должен иметь возможность выбрать наиболее подходящие для нужд проекта на основе следующих характеристик:

- конфигурация и размеры;
- поле измерения;
- точность;
- условия окружающей среды, необходимые для работы;
- тип измерений;
- возможность обслуживания.

Ниже приведены краткие комментарии к использованию приборов, предназначенных для измерения перечисленных параметров, с отсылкой к техническим таблицам для детальной информации.

• Уровни воды

Съемка (контроль) уровня воды является традиционным измерением, имеющим фундаментальное значение в геотехнике, поскольку изменения давления воды являются показателями действующего напряжения, определяющие осадку грунта под приложенной нагрузкой (рис. 3).



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

При земляных работах ниже водного горизонта возникает, кроме того, фильтрационное движение, отрицательно сказывающееся на надежности опорных конструкций, а также слабое, переменное гидравлическое давление на фундаменты.

Для водопроницаемых грунтов имеютс^я пьезометры типа *Casagrande* и с открытой трубкой.

Пьезометры обычно устанавливаются в специальных скважинах; через фильтрующий элемент вода проникает в пьезометрические трубки и располагается в соответствии с уровнем водного горизонта.

Измерение выполняется вручную посредством зонда, установленного на кабеле с сантиметровой или миллиметровой градуировкой.

• Давление и избыточное промежуточное давление

Используются различные типы пьезометров (рис. 4), в том числе:

- электрические пьезометры;
- пьезометры с вибрирующей струной.

В отличие от предыдущих, эти пьезометры (с закрытой камерой) измеряют избыточное промежуточное давление на уровне установки, а не высоту столба; поэтому они могут устанавливаться и в малопроницаемых плотных грунтах.

При сложной стратификации геологического разреза в одну скважину могут устанавливаться несколько пьезометров.

Ручные замеры ведутся с помощью электронной станции соединенной с приборным кабелем, автоматические замеры – посредством системы сбора данных без вмешательства оператора.

В случае частых проверок на большом количестве приборов, предпочтительнее использовать не ручные замеры, а автоматические системы сбора данных.

• Усилия на опорных конструкциях (подпорных стенках)

В геотехническом проектировании расчет усилия на подпорных конструкциях котлована основывается на некоторых, более или менее приблизительных, моделях поведения грунта.

Для протяженных и заглубленных котлованов под фундамент высотных зданий

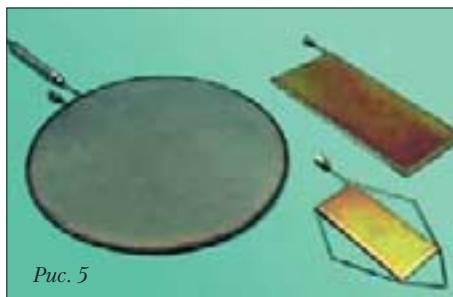


Рис. 5

необходимо использование целого ряда приборов для прямого замера нагрузки и проверки проектных ожиданий.

Для этой цели применяют датчики общего давления с электрическим преобразователем (рис. 5). Приборы устанавливают так, чтобы они имели контакт с грунтом и опорной конструкцией для определения фактического профиля (распределения по вертикали) нагрузки на грунты и располагают на различной глубине в вертикальных секциях.

Измерения могут вестись в ручном режиме с помощью электронной станции, связанной с кабелем, и/или автоматически.

• Нагрузки на элементы жесткости (стяжки, стойки)

Эти параметры измеряются динамометрическими датчиками полого (тороидального) типа для болтов и стяжек (рис. 6) и цельного – для стоек. Динамометрическими датчиками можно измерять силы натяжения (болты и стяжки) или сдвигания (стойки), следя за их изменениями во времени.

Как правило, динамометрические датчики устанавливаются вместе с двумя жесткими, стальными, дополнительными пластинами (верхней и нижней), выполняющими функцию распределения нагрузки и выравнивания поверхности контакта.

Измерения выполняются обычно вручную, если ведутся с помощью манометра или переносной электронной станции, или же автоматически, если контролируются автономной компьютерной системой сбора данных, предназначенной как для приема данных, так и для их ввода в память и дистанционной передачи на удаленную станцию контроля.

• Общая и дифференциальная осадка фундамента

Измерение осадки грунта в основании здания имеет основное значение в геотехнике и может осуществляться различными инструментальными системами.

Мультибазовые (многоточечные) экстенсометры состоят из одного или нескольких стержней из стали, сплава инвар или стекловолокна, свободно скользящих внутри защитного кожуха и привязанных к погружному анкеру. Стержни передают на из-



Рис. 6



Рис. 7

мерительную головку относительно смещение между анкерами и поверхностью.

Оптический контроль осадки головки позволяет определить абсолютную осадку во всех точках установки, зная показания на стержнях относительного смещения.

Экстенсометры обычно устанавливают в технологические отверстия, предусмотренные по проекту фундамента, или извне в непосредственной близости от него.

По тому же принципу анкеровки и вертикально перемещающегося стержня может использоваться точечный измеритель осадки, предназначенный также для оптического нивелирования.

Возможное использование линейных электрических датчиков смещения при измерениях позволяет применять эти инструменты для автоматического сбора данных.

Другие категории инструментов горизонтального расположения измеряют дифференциальные просадки в интересующих нас точках по линии фундамента. Осадка в точках замеров соотносится с внешней точкой, которая, следовательно, должна быть фиксированной и в любом случае доступной оптическому контролю, чтобы иметь возможность выводить абсолютную величину просадки из относительных замеров.

Системы измерения осадок DSM (Differential Settlement Monitoring) производятся в виде различных моделей с соединительным контуром, наполненным специальной жидкостью.

• Усилия и деформации в бетоне и арматуре фундаментов

Для контроля уровня напряжений и деформаций в бетоне и в арматуре фундаментов предусмотрены тензодатчики с вибрирующей струной (струнного типа) и тензометрические штанги (рис. 7).



Рис. 8



Рис. 10



Рис. 12

Эти приборы измеряют удельную деформацию в точке установки, выраженную электрическим сигналом; давление вычисляется по законам поведения материалов при известных модулях деформации. Тензодатчики могут быть непосредственно погружены (утоплены) в бетон или приварены к арматуре.

- Поверхностные и глубинные смещения грунта

Если с внешней стороны защитной стенки котлована ожидаются заметные горизонтальные смещения грунта, необходимо использование традиционной инклинометрической трубки (рис. 8).

Для дополнения инклинометрических измерений – определения профиля смещения по вертикальной оси трубки – созданы инкрементальный экстенсометр T-REX и стационарные тензоинклинометры DEX с датчиками магнитного поля.

Для работы этих приборов нужно предварительно оснастить уклонометрическую трубку магнитными кольцами на заранее определенной глубине (высоте), с шагом дискретизации измерений. Из комбинации тензометрических и инклинометрических измерений (по деформациям инклинометрической трубки) вычисляется амплитуда смещения грунта в трех пространственных измерениях.

- Усилия и деформации в бетоне и арматуре несущих элементов

Так же как и для элементов конструкции фундаментов, для стоящих над землей конструкций используются тензодатчики с вибрирующей струной (струнного типа) и тензометрические штанги, сенсублизированные с резистивными тензометрами. Балки,

опорные колонны, перекрытия, стены, каждый несущий элемент может быть оснащен при необходимости тензодатчиками в точках приложения наибольшего усилия.

При наличии изгибающих моментов любого знака следует устанавливать приборы (тензодатчики) попарно на внутренней и внешней образующей данного элемента, что позволяет определить позицию нейтральной оси (рис. 9).

Следует предусмотреть специальные каналы для прохода кабелей и подготовку подходящего помещения для их централизации и ведения измерений.

В режиме эксплуатации надземной конструкции измерения предпочтительнее вести в автоматическом режиме многоканальной системой при дистанционном контроле.

- Смещения несущих элементов

В случае двух отдельных элементов, которые способны двигаться независимо друг от друга, могут использоваться измерители соединений с электрическим потенциометрическим линейным датчиком на подвижной штанге, в одноосном и трехосном вариантах (рис. 10).

Перемещения потенциометрической штанги, равные относительно смещению элементов, преобразуются датчиком в электрический сигнал.

В этом случае тоже следует позаботиться о том, где будут проходить кабели и о месте для централизации и ведения измерений.

Важным показателем считается также относительное смещение по горизонтали между вершиной надземной конструкции и ее основанием. Соответствующим инстру-

ментом контроля здесь является *прямой маятник*, размещенный в специальной или лифтовой шахте, состоящий из стального троса, закрепленного сверху (в верхней части здания) и натягиваемого снизу гирей, колебания которого демпфируются в емкости с минеральным маслом.

Измерения как в ручном, так и в автоматическом режиме, проводимые вблизи от емкости, дают картезианские координаты троса в локальном плане (по X-Y).

Для вертикальных движений в некоторых точках, расположенных по горизонтальной проекции, можно еще использовать системы контроля осадок DSM.

- Ротационные движения (наклоны) стенок конструкции

Измерения ротационного движения стенок ведутся с применением *поверхностных наклономеров*, выпускаемых в различных моделях, различающихся между собой типом и характеристиками датчиков наклона. Наклонометры устанавливаются в настенном положении стационарно, на неподвижных консолях (рис. 11).

Измерения проводятся в ручном режиме, с помощью переносных станций и съемных наклономеров (тип *Tilli*). В момент измерения наклономер попросту помещается на опорную фигурную пластину и прижимается к стене.

Эти приборы не требуют проникающей установки, так что на стене ничего не видно, только лишь в момент проведения замеров.

- Поверхностные и глубинные смещения грунта

Для мониторинга смещения грунта поблизости от уже существующих зданий, ко-



Рис. 9



Рис. 11



Рис. 13



Рис. 14

торые затрагиваются земляными работами, применяется несколько инструментальных систем. Мониторинг относительных смещений между двумя неподвижными точками на поверхности выполняется *ленточным дистанциометром с ручным снятием показаний* (рис. 12).

Дистанциометр состоит из градуированной стальной ленты, связанной с электронным шаблоном в сотых долях миллиметра, который натягивается между двумя контрольными (сходящимися) анкерными болтами с функцией неподвижных точек (по сути это эффективный электронно-механический аналог топографической мерной стальной ленты).

В дальнейшем измеряется изменение расстояния между болтами, соответствующее относительному смещению.

Глубинные смещения измеряются еще и *многоточечными экстенсомерами*. В этом случае приборы должны устанавливаться на субгоризонтальном уровне и быть направлены в сторону зданий, за которыми ведется наблюдение. Вид наружной части такого прибора представлен на рис. 13.

В грунте по фризу (контур) наблюдаемых зданий могут еще устанавливаться вертикальные инклинометрические трубки, возможно с дополняющими замерах вертикальных деформаций посредством *тензометрического магнитного зонда T-REX*.

- Смещение конструкций

Для таких смещений требуется применение, по меньшей мере, одной *системы DSM с изменяемым уровнем* (рис. 14).

Установка датчиков снаружи здания менее желательна, но более проста, в част-



Рис. 16

ности и для обслуживания. Измерения уровня должны дополняться *температурными показателями*, поскольку система DSM очень чувствительна к изменениям температуры. Следовательно, надо будет предварительно определить закономерности поведения в зависимости от температуры так, чтобы очистить показания от температурного эффекта.

Температура отслеживается с помощью *термометров с платиновыми датчиками или термисторными*.

Один или несколько *оптических отражателей* (рис. 15) позволят провести топографическое нивелирование в нужных контрольных точках с одной базы.

Локальные смещения между независимыми элементами конструкции исследуются обычными *измерителями стыков (однобазовый измеритель трещин)* в одноосном и трехосном вариантах. При наличии трещин в изделиях, изменение расстояния между краями поврежденного места контролируются *измерителем трещин* (рис. 16). Снабженные двумя элементами для стационарного крепления в перекидку над разломом, измерители трещин могут быть *механического или электрического типа*.

- Ротационные движения стенок конструкции

Наиболее подходящим инструментом для этого вида измерения являются поверхоностные наклонометры: магниторезистивные бесконтактные маятники, стержневые клинометры, компенсационный серво-акселерометр (рис. 17).

В том случае, если они применяются с внешней стороны конструкции, подверга-



Рис. 18

ющейся мониторингу, должны быть предусмотрены измерения температуры для того, чтобы отделить тепловые эффекты от механических.

4. Измерительные системы

Определив параметры измерений и приборы, для завершения разработки системы и рабочего плана мониторинга необходимо установить:

- места прокладки кабелей (электроприборы);
- вид и конструкцию измерительных систем.

Места прокладки кабелей должны определяться так, чтобы обеспечить для них должную степень защиты от различных видов деятельности на стройплощадке (рис. 18).

В общих случаях приборная установка должна предусматривать режим физической коммутации (кроссировку), наличие нескольких распределительных коробок, где соединяются на входе до 10 одножильных кабелей, в то время как оттуда выходит один или несколько многожильных кабелей. Коробки могут быть оборудованы внутри противогрозовыми предохранителями (рис. 19). Многожильные кабели направляются затем в специальные централизованные пункты, где терминалы связаны с одной или несколькими измерительными панелями. Каждая панель снабжена шестипозиционным переключателем для включения приборов и может быть соединена с противогрозовым предохранителем.

К панелям с помощью небольшого кабеля с переключателями подключаются универ-

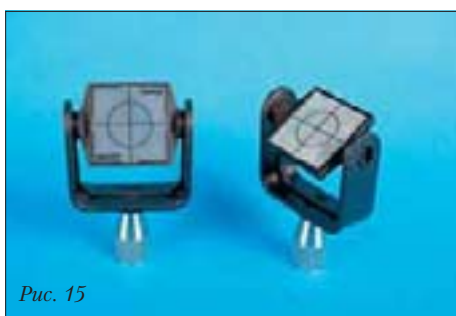


Рис. 15



Рис. 17



Рис. 19



Рис. 20



Рис. 21



Рис. 22

сальные измерительные приборы и электронные станции (рис. 20) для измерений вручную. Если количество установленных приборов значительно, с продолжением строительных работ необходим постепенный переход к автоматическим измерениям, подключая ранее установленные приборы к одной или нескольким системам сбора данных.

Такие системы позволяют обрабатывать данные сотен приборов, хранить в памяти большой объем считанного материала и выполнять такие функции, как анализ полученных величин, установка порогов тревоги, передача на отдаленные центры, управляющие сетью приборов.

Основной блок сбора данных ADK-10 (рис. 21) строится вокруг модуля CR-10X производимого Campbell Scientific; каждый модуль может быть расширен с добавлением на входе до 6 карт multiplexer, достигая мощности 192 каналов (рис. 22).

Всей обработкой данных системы ADK-10 заведует программное обеспечение Multilogger посредством персонального компьютера. Соединение со сбором данных может быть как прямое, посредством кабеля и коммуникационных портов RS232 или RS485, так и дистанционное, через телефонный или GSM-модем.



Рис. 23

В последнем случае, данные, собранные с ADK-10, передаются на дистанционный центр контроля, который систематизирует полученные измерения, обрабатывает их и выдает в форме таблиц и графиков (рис. 23).