

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И МКЭ-АНАЛИЗ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ  
ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

*Московский  
государственный  
строительный  
университет*

**Коргин А.В.**  
*Директор Научно-образовательного центра инженерных  
исследований и мониторинга строительных конструкций,  
профессор кафедры «Испытания сооружений»,  
доктор технических наук*

**Коргина М.А.**  
*Старший преподаватель кафедры «Испытания сооружений»,  
кандидат технических наук*

**Поляков Д.А.**  
*Инженер кафедры «Инженерная геодезия»*

**Ранов И.И.**  
*Профессор кафедры «Инженерная геодезия», кандидат технических наук*

Одной из основных проблем эксплуатации зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях современных городов является возможность их повреждения в результате разнообразных техногенных причин, таких как неравномерные осадки грунтового основания, спровоцированные строительством на сопредельной территории или повреждениями прилегающих инженерных водонесущих коммуникаций.

Контроль деформаций проблемного сооружения является предметом мониторинга его технического состояния, который традиционно осуществляется с помощью геодезической аппаратуры путем повторных измерений развития вертикальных осадок в уровне основания. Измерения пространственных перемещений, которые более полно могут отразить картину изменения напряженно-деформированного состояния объекта, сопряжены с техническими трудностями и ограниченными возможностями координатной съемки в условиях плотной городской застройки.

Метод конечных элементов (МКЭ) является на сегодняшний день основным инженерным инструментом автоматизированного математического анализа напряженно-деформированного состояния строительных конструкций от любого вида внешних воздействий, включая неравномерные осадки оснований здания. Использование полученных в ходе геодезических измерений перемещений характерных точек здания в качестве нагружающего воздействия в форме так называемых «наложенных перемещений» позволяет с помощью МКЭ-модели непосредственно оценивать напряженно-деформированное состояние конструкций, возникающее от деформаций здания в результате неравномерных осадок основания.

Использование вертикальных осадок, измеренных в уровне основания здания, не дает полной картины влияния неоднородных смещений основания на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций всего здания. Поэтому в рамках данной работы в качестве «наложенных перемещений» используются деформации пространственной геометрической модели здания, полученной в результате тахеометрической съемки положения характерных точек всего здания. Контролируемые точки (узлы) пространственной геометрической модели с определенной точностью соответствуют части узлов конечно-элементной модели здания, сформированной по суперэлементной технологии.

Проведение полноценной координатной съемки пространственно-го положения здания стало возможным в результате создания специализированной технологии координатных измерений в условиях стесненного доступа. В ее основе лежит использование специально разработанных сферических отражательных марок, позволяющих проводить устойчивые измерения координат при любых углах визирования с заданной точностью в большом диапазоне расстояний.

Зафиксированные деформации каркасно-точечной пространственной геометрической модели здания в таблично электронной форме в сочетании с обычными нагрузками служат исходной нагрузочной информацией для суперэлементной МКЭ-модели, которая позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние как всего здания в целом, так и при необходимости – его отдельных частей.

В настоящее время по данной технологии проводится мониторинг здания многофункционального административного комплекса «Альфа Арбат Центр» (фото 1, 2), расположенного по адресу: г.Москва, ул.Арбат, д.1. Здание 9-этажное, с 5-уровневой подземной автостоянкой, имеет сложную в плане форму, соответствующую красным линиям улицы Арбата и Гоголевского бульвара. Каркас здания стальной, с монолитными железобетонными перекрытиями. Здание располагается непосредственно над линией метрополитена неглубокого заложения в зоне со сложными инженерно-геологическими условиями, испытывающими динамические воздействия и допускающими возможность значительных деформаций основания.

Целью мониторинга здания является своевременная фиксация начала деформационных процессов, представляющих опасность для технического состояния здания. В состав работы включены следующие задачи:

- определение планового и высотного положения характерных точек для измерения их смещения во времени;
- определение высотного положения точек на несущих конструкциях и фасаде здания для измерения величин их осадок.

В соответствии с техническим заданием мониторинг осадок здания комплекса «Альфа Арбат Центр» производится каждые 3 месяца и включает 5 циклов наблюдения.

## Предотвращение аварий зданий и сооружений

---



Фото 1. Вид здания со стороны пересечения улицы Арбат и Гоголевского бульвара



Фото 2. Вид здания со стороны Гоголевского бульвара

В ходе 1-го этапа работ на фасадах здания методом использования промышленных альпинистов (фото 3) были установлены плоские отражательные марки и сферические отражатели пространственных координат (фото 4).

Определение планового и высотного положения характерных точек здания выполняется путем определения координат и высот необходимого количества замаркированных точек в местной системе координат.



Фото 3. Установка деформационных марок на здание альпинистом

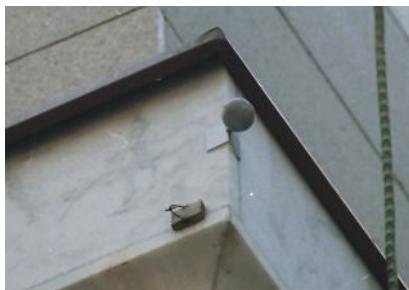


Фото 4. Угловая сферическая деформационная марка, установленная на уровне перекрытия 3-го этажа

Для решения поставленной задачи применялся координатный метод определения смещений. С этой целью была создана опорная геодезическая сеть из 8 станций, координаты которых были определены в местной системе координат с опорой на точку, расположенную за пределами деформационной зоны. Координаты остальных станций определялись путем прокладки замкнутого полигонометрического хода и одной висячей точки (рис.1).

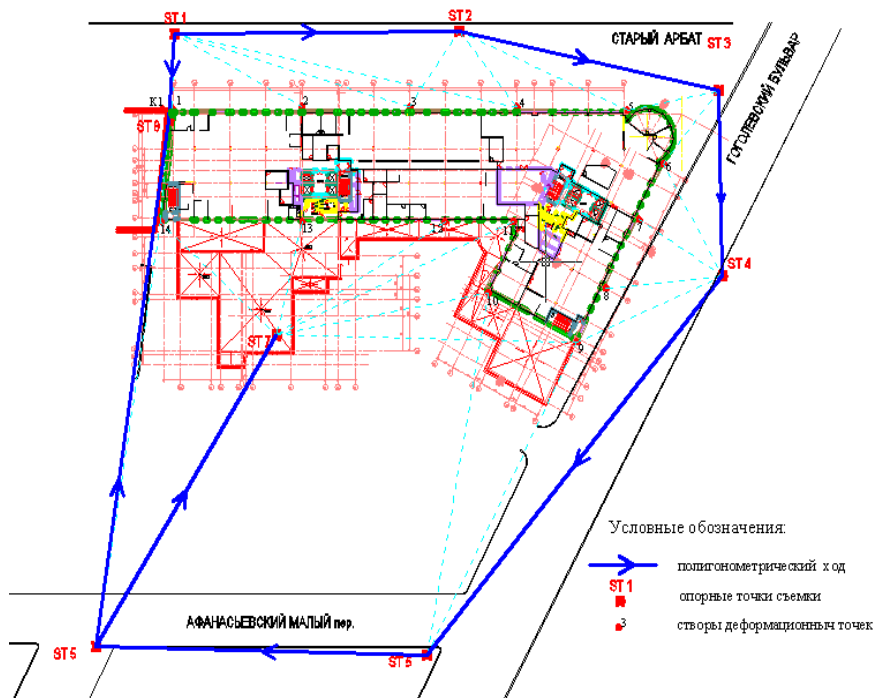


Рис. 1. Схема геодезической сети

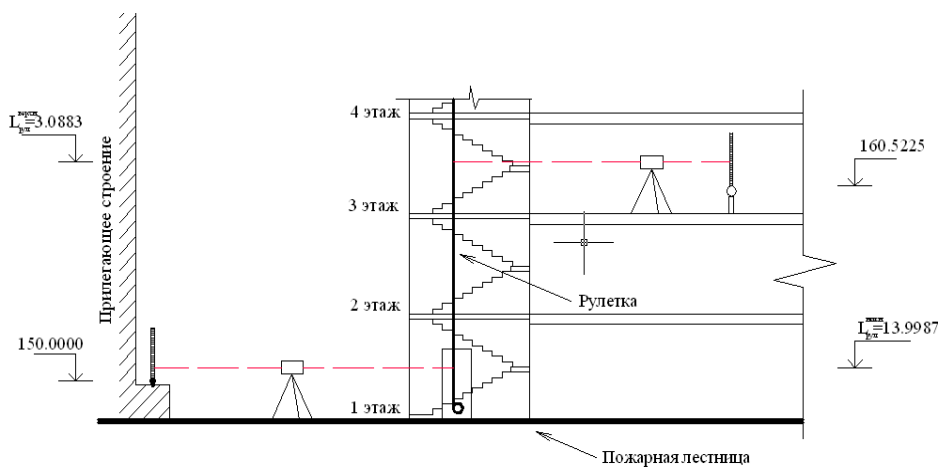


Рис.2. Схема передачи отметок с улицы на 3-й этаж здания

Нивелировка осадочных марок, установленных на несущих конструкциях здания (колонны и ригели) 1-го и 3-го этажей, проводится в единой системе высот с марками пространственных координатных смещений с целью получения более полной картины неоднородных осадок здания (рис.2).

Пространственная координатная модель здания для контроля деформаций создавалась путем определения координат замаркированных характерных точек здания, расположенных по вертикальным створам. В каждом створе замаркированы точки на 2-4 стандартных уровнях, совпадающих с уровнями перекрытий этажей (рис.3).

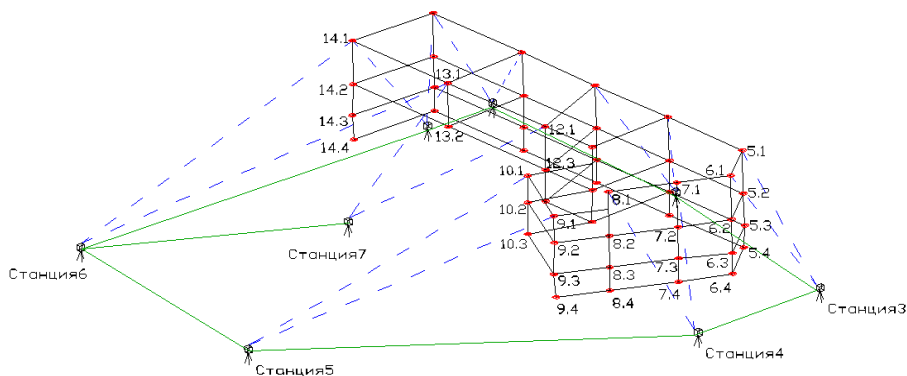


Рис. 3. Пространственно-координатная модель здания

Контролируемые точки (узлы) пространственной геометрической модели с определенной точностью соответствуют части узлов конечно-элементной модели здания.

Основная МКЭ-модель здания формируется по классическому принципу, когда составляющими модели являются элементы несущих металлоконструкций (колонны, балки, прогоны, связи), которые моделируются пространственными прямолинейными стержневыми КЭ, работающими на растяжение-сжатие, изгиб, кручение и сдвиг. На рис.4 представлена рабочая версия конечно-элементной модели здания, включающая 67632 элемента и 45440 узлов.

Кроме того, модель содержит сплошные диски железобетонных перекрытий, которые моделируются прямоугольными плитными конечными элементами в количестве около 5000 на каждый этаж.

Данная модель позволяет проводить любые расчеты здания, в том числе на действие основных видов эксплуатационных нагрузок: собственный вес, снеговая нагрузка, временная нагрузка в соответствии со

СНиП 2.01.07. «Нагрузки и воздействия», а также на деформационные воздействия. Однако прямая оценка влияния зафиксированных смещений отдельных узлов на базе основной МКЭ-модели затруднительна из-за большого объема работы по экстраполяции зафиксированных перемещений на остальные узлы модели.

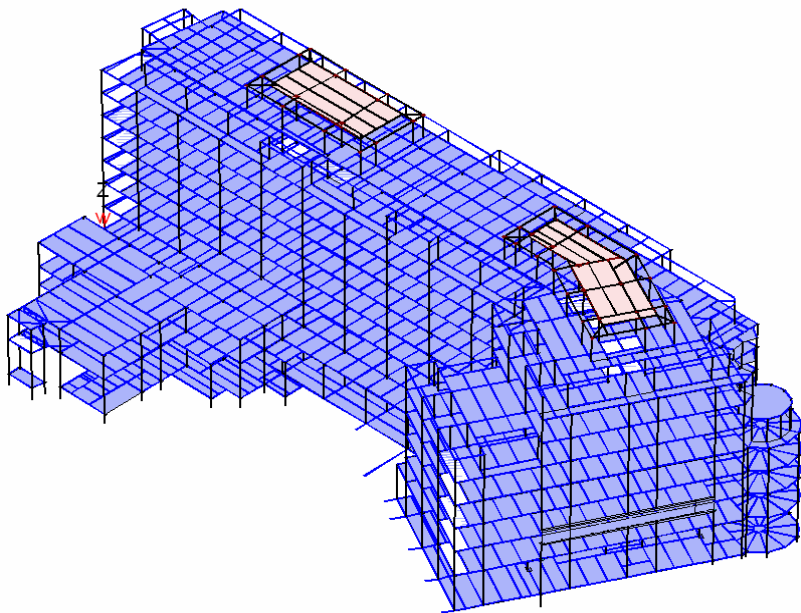


Рис. 4. Аксонометрическая схема МКЭ-модели здания

По этой причине в рамках настоящей работы использована следующая технология: на базе основной МКЭ-модели формируется суперэлементная МКЭ-модель здания, узлы которой совпадают с узлами пространственной геометрической модели – их перемещения являются предметом контроля в ходе геодезического мониторинга. Полученные смещения, будучи приложенными к суперэлементной модели в качестве «наложенных перемещений», позволяют без больших затрат при обратном ходе от суперэлементной к основной МКЭ-модели оценить напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов последней. Вычисленные абсолютные значения перемещений узлов основной МКЭ-модели здания и степень напряженности наиболее нагруженных конструктивных элементов позволяют объективно оценить влияние возникших деформаций на несущую способность здания в целом.

На основании данного расчета определялись перемещения характерных точек конструкции для установления их абсолютных значений и последующего их сравнения со значениями смещений, зарегистрированных в ходе геодезического мониторинга.

Относительно характера результатов проводимого мониторинга здания следует отметить, что максимальные зафиксированные значения статистически обработанных перемещений не превышают 5-7 мм – это существенно ниже вычисленных значений перемещений от эксплуатационных нагрузок (15-20 мм), что свидетельствует о незначительном влиянии происходящих деформационных процессов на несущую способность здания.