

Рекомендации по выполнению раздела «Мониторинг строительных конструкций и научно техническое сопровождение строительства зданий и сооружений» дипломной (выпускной КР)

Содержание:

Введение

1. Общие сведения о приборной - инструментальной базе и методах мониторинга напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов зданий и сооружений
2. Контроль изменения пространственных характеристик строительного объекта и структурной целостности конструкции
 - 2.1. Геодезические методы контроля изменения пространственных характеристик сооружения
 - 2.2. Инструментальные наблюдения изменения пространственных характеристик здания
3. Контроль состояния грунтового массива в основании и окрестности здания
 - 3.1. Мониторинг осадок грунтов основания
 - 3.2. Контроль горизонтальных перемещений грунта
 - 3.4. Измерения давления на грунт в основании сооружения
 - 3.5. Контроль гидрогеологического режима грунтового массива
4. Мониторинг колебаний конструкции здания сейсмометрическими методами
5. Научно-техническое сопровождения проектирования и строительства высотных зданий как процесс мониторинга
 - 5.1. Разработка программы проведения научно-технического сопровождения
 - 5.2. Разработка концепции научно-технического сопровождения и геотехнического мониторинга при возведении и эксплуатации высотного здания
 - 5.2.3. Анализ инженерно-геологических условия площадки строительства под здание
 - 5.2.4. Пример оформления программы мониторинга высотного здания
 - 5.3. Оформление проекта научно-технического сопровождения и мониторинга
 - 5.3.1. Пример оформления исходных данных к проекту мониторинга
6. Пример разработки системы мониторинга технического состояния несущих конструкций высотного здания
 - 6.1. Исходные данные
 - 6.2. Автоматическая система мониторинга
7. Выбор оптимального количества точек измерений и размещения датчиков для выполнения мониторинга.
 - 7.1. Принцип группировки датчиков и необходимость использования интегрированного комплексного мониторинга.

7.2. Примеры оптимизации размещения точек измерений и установки датчиков для зданий различных конструктивных схем

7.4. Общие рекомендации по назначению точек измерений и размещению датчиков

8. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций высотных зданий

8.1. Общие сведения о структурированной системе мониторинга

8.2.1. Структура СМИС

8.2.2. Пример разработки системы онлайн-мониторинга.

8.2.3. Пример разработки системы инструментального мониторинга основных несущих конструкций здания.

8.2.4. Пример комплектации стационарной станция мониторинга высотного здания

8.2.5. Общие замечания по комплектации и обслуживанию стационарной станция мониторинга высотного здания

9. Пример разработки система мониторинга технического состояния конструкций «GEOTEK SHM»

9.1. Общие сведения

9.2. Требования к системе, оператору, инженеру.

9.3. Функции системы

9.5. Описание системы

9.5.1. Требования системы Geotek SUM на этапе конфигурирования

9.5.2. Состав модулей системы

10. Система мониторинга состояния объекта строительства ZETlab

10.1. Технические средства мониторинг крена здания и смещения точек элементов

10.2. Технические средства мониторинга напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций

10.3. Мониторинг уровня вибрации несущих элементов сооружения

10.4. Мониторинг собственной частоты колебаний и логарифмического декремента затуханий

Введение

Высотное здание – это уникальное сооружение, образующее единую лито-техническую систему с геологической средой в его основании. Каждый такой объект имеет **архитектурные и конструктивные особенности** и находится **в индивидуальных** климатических, инженерно-геологических, геоморфологических и тектонических условиях, характерных для территории, на которой он проектируется и возводится.

Обеспечение безопасности высотных зданий в процессе их возведения и эксплуатации требует **постоянного контроля состояния объекта**. Именно для таких зданий предусмотрено оснащение здания **системой инструментального мониторинга**.

Высотные здания наиболее интенсивно воздействуют на грунтовый массив в их основании как за счет больших величин статических нагрузок, определяемых весом здания, так и за счет разнообразных внешних нагрузок (ветровые, сейсмические и пр.), активно воспринимаемых высотными объектами. Таким образом, контроль состояния высотного здания немыслим без изучения **процессов в грунтовом массиве основания, как одного из важнейших факторов стабильности сооружения**.

В настоящее время в геотехническом и строительном мониторинге существует **набор инструментов и методик** для контроля стабильности конструкций и грунтов основания, динамики развития деформаций, а также их **перераспределения в процессе эксплуатации объекта**.

В зависимости от параметров сооружения, которые необходимо контролировать, выделяются четыре основных блока **полноценной системы мониторинга высотного объекта**:

- контроль изменения напряженно-деформированного состояния основных конструктивных элементов фундамента и надземной части зданий;
- контроль изменения пространственных характеристик объекта, структурной целостности конструкции в целом, технологических швов, стыков и сочленений, перемещений основных элементов относительно друг друга;

- контроль состояния грунтового массива в основании и в окрестности здания, влияющих на окружающую застройку;
- измерения собственных частот колебаний здания как интегральной характеристики состояния конструкции в целом.

Целью курсового проекта является

1. Разработка полноценной системы мониторинга высотного здания включающая в себя набор измерительных средств, позволяющих контролировать различные параметры, как строительных конструкций, так и грунтового массива основания. Такой комплексный подход должен обеспечить возможность получения достоверной и разносторонней информации о состоянии напряженно деформированного состояния сооружения при сопоставлении данных измерений разных типов датчиков.
2. Выполнить анализ существующего в настоящее время оборудования и методик мониторинга применимых для высотного объекта. Для этого выбор конкретных типов и характеристик оборудования должен определяться исходя из заданного архитектурного и конструктивного решения здания, результатов физического и компьютерного моделирования, а также анализа материалов инженерно-геологических изысканий и геолого-геофизической ситуации площадки строительства.
3. Оценить взаимодействие грунтов и конструкций подземной части здания которое представляют собой наиболее сложный (да и малоизученный вопрос) учитывая что конструкции нижней части здания испытывают максимальные по величине нагрузки. Поэтому целесообразно устанавливать основную часть инструментов мониторинга в грунтовый массив основания и конструктивные элементы фундаментной плиты, стилобата и первых этажей здания.
4. Изменение физико-механических свойств грунтов под влиянием внешних факторов и развитие деформаций в конструктивных элементах всего объекта могут происходить с достаточно высокой скоростью. ***В связи с этим важно, чтобы система мониторинга высотного объекта функционировала в автоматическом режиме.***

1. Общие сведения о приборной - инструментальной базе и методах мониторинга напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов зданий и сооружений

Изменение напряженно-деформированного состояния конструкций может быть обусловлено ***множеством причин***, таких как низкое качество материалов, нарушение порядка проведения строительно-монтажных работ,

неравномерные осадки зданий, неучтенные проектом дополнительные нагрузки и т.д.

Для контроля динамики развития напряжений в конструктивных элементах могут быть использованы достаточно хорошо зарекомендовавшие себя тензометрические датчики различных типов (в зависимости от типа сенсора и схемы установки). В качестве регистрирующих элементов могут использоваться струнно-акустические, резистивные или оптоволоконные сенсоры. Стандартный тензометрический датчик представляет собой стержень, один конец которого жестко закреплен, а второй («рабочий») конец имеет некоторую величину свободного хода. При деформации сжатия или растяжения этот конец перемещается, изменяя базовую длину датчика (она может быть довольно разной, от 10 см до 1 м), что приводит к изменению регистрируемых сенсором показаний.

Таким образом, тензометрические датчики позволяют измерять реальную величину относительной деформации в точке установки. Наблюдения могут производиться непрерывно, в том числе в автоматическом режиме, и, тем самым, отслеживать динамику изменения этой величины. В дальнейшем, зная деформационные характеристики материала конструкции (модуль упругости), можно перевести полученные величины относительной деформации в реальные величины механических напряжений, что позволяет оценить работу как отдельных конструктивных элементов, так и конструкции в целом.

Тензометрические датчики (рис.1) позволяют контролировать развитие напряжений в конструкции с момента ее возведения и на протяжении всего срока эксплуатации объекта.

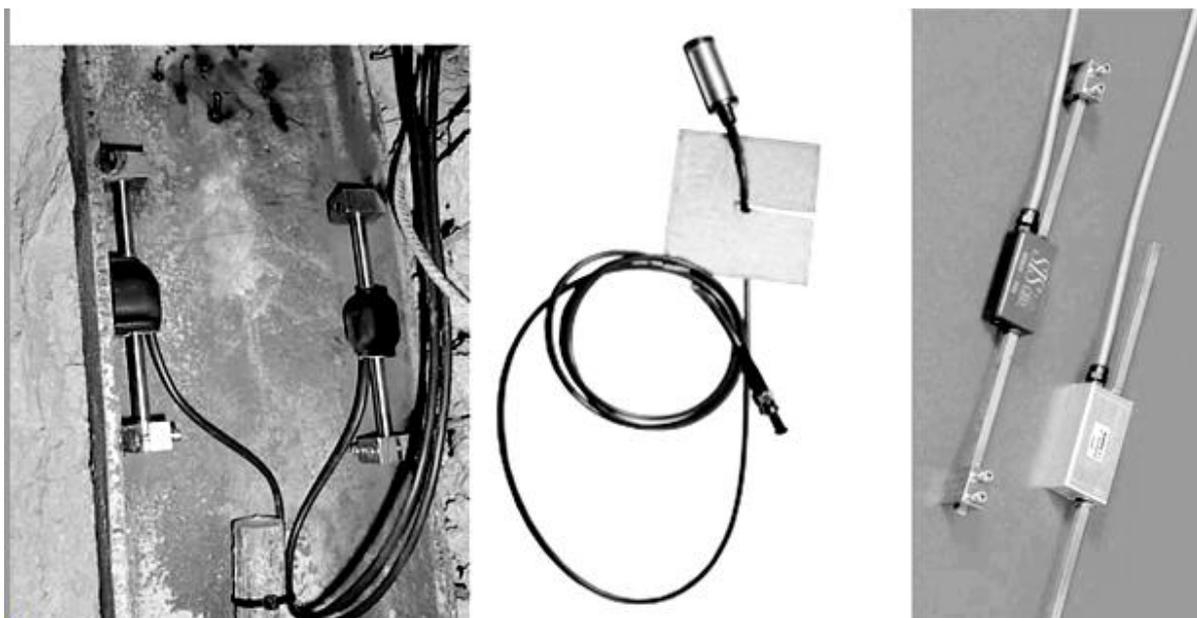


Рис. 1.1. Внешний вид тензометрических датчиков разных типов

Технические характеристики тензометрических датчиков различных типов представлены в табл.1.1.

Характеристики	Тип сенсора		
	струнно акустический	резистивный	оптоволоконный
Диапазон измерений	3000 pe	±1500 pe	0...210 ⁻²
Разрешение	1 pe	1 pe	10 pe
Точность	<2% от шкалы	<2% от шкалы	1,5%
Рабочая температура	-20... +60°C	-20...+70°C	-30...+60°C

Табл.1.1. Технические характеристики тензометрических датчиков различных типов

В зависимости от материала конструктивного элемента могут использоваться различные способы монтажа тензометрических датчиков. В железобетонных конструкциях датчики устанавливаются на арматуру или на специальных подвесах внутри арматурного каркаса непосредственно перед заливкой бетона. Для контроля развития напряжений в арматуре используются датчики, установленные в лабораторных условиях на отрезок арматуры требуемого диаметра, который легко встраивается в существующее арматурное поле при помощи сварки. Мониторинг напряженно-деформированного состояния стальных конструкций осуществляется при помощи накладных тензометрических датчиков, которые либо имеют специальные установочные блоки-наконечники, привариваемые к конструкции, либо крепятся непосредственно к конструкции при помощи аппарата точечной сварки или эпоксидной смолой.

При создании системы мониторинга зачастую невозможно установить датчики во все интересующие элементы конструкции, так как для этого необходимо использовать слишком большое количество датчиков и коммутационных комплектующих, что неизбежно приводит к значительному росту стоимости системы. В этом случае представляется рациональным устанавливать датчики в наиболее нагруженных (по результатам компьютерного моделирования) конструктивных элементах фундамента, подземной части и первых этажей.

2. Контроль изменения пространственных характеристик строительного объекта и структурной целостности конструкции

При возникновении неравномерной осадки грунтов основания или нарушении в работе конструкции будут наблюдаться изменения пространственных характеристик здания, такие как отклонения от вертикали, смещения конструктивных элементов и т.д. Для контроля этих параметров могут использоваться как различные геодезические методы (от традиционной нивелировки до пространственного лазерного сканирования объекта и GPS-технологий), так и широкий набор инструментальных средств: наклономеры и отвесы различных типов, а также системы измерения неравномерных осадок конструкции здания.

Данные об изменении пространственных и геометрических характеристик показывают только конечный результат деформации конструкции, но не отражают реального процесса развития этих деформаций и изменения состояния грунтов основания объекта. Поэтому целесообразно использовать данные методы в качестве *дополнения* к системе инструментального мониторинга здания.

2.1. Геодезические методы контроля изменения пространственных характеристик сооружения

В строительной практике наиболее распространены геодезические наблюдения за вертикальными смещениями (осадками) зданий и сооружений, а также за перемещениями отдельных конструктивных элементов. Методика стандартного топогеодезического контроля осадок зданий и грунтов основания с помощью прецизионных цифровых нивелиров (высокоточное геометрическое нивелирование) довольно подробно описана в специализированной литературе и нормативных документах. Поэтому в курсовом проекте следует рассматривать наиболее современные геодезические методики – GPS-мониторинге и лазерном сканировании высотных объектов.

Методика GPS-мониторинга здания во многом подобна традиционным геодезическим наблюдениям. При создании системы мониторинга по периметру высотного здания и на отдельных конструктивных элементах устанавливаются высокоточные GPS приемники, а также создается опорная сеть, на основе базовых станций, расположенных вне зоны влияния сооружения. Примером GPS приемника, применяемого для мониторинга высотных зданий, является высокоточный двухчастотный приемник Sokkia GSR2700 ISX, технические характеристики которого представлены в табл.2.1.

Число каналов	72 канала, GPS L1/L2 полный код и фаза несущей, L5, ГЛОНАСС L1/L2 полный код и фаза несущей
Точность в "Кинематике с	в плане 10 мм + 1 мм км. по высоте 20

постобработкой"	мм + 1 мм км
Точность в "режиме реального времени"	в плане 10 мм + 1 мм км, по высоте 20 мм + 1 мм км
Точность в "статике" и "быстрой статике" при 5 и более спутниках	в плане 3 мм + 0,5 мм км, по высоте 10 мм + 1 мм км
Рабочая температура	-20...-65°C

Табл. 2.1. Технические характеристики двух частотного GPS-приемника Sokkia GSR2700 IS

Определяя координаты контрольных точек и сопоставляя результаты измерений в отдельных точках, получают изменение пространственного положения здания в целом и перемещение конструктивных элементов относительно друг друга.

Одной из самых современных геодезических методик мониторинга высотных зданий является лазерное сканирование. Суть технологии заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта посредством измерения расстояния до всех точек с помощью лазерного без отражательного дальномера. При каждом измерении луч дальномера отклоняется от своего предыдущего положения так, чтобы пройти через узел некой мнимой нормальной сети, называемой сканирующей матрицей. Количество строк и столбцов матрицы может регулироваться. Чем выше плотность точек матрицы, тем выше плотность точек на поверхности объекта. Результатом измерений является некое множество точек с трехмерными координатами.

В большинстве конструкций сканеров используется импульсный лазерный дальномер. На пути к объекту импульсы лазерного излучения проходят через систему зеркал, которые осуществляют пошаговое отклонение лазерного луча. Наиболее распространенной является конструкция, состоящая из двух подвижных зеркал, одно из которых отвечает за вертикальное смещение луча, а другое – за горизонтальное. Зеркала сканера управляются прецизионными сервомоторами, которые обеспечивают точность направления луча лазера на снимаемый объект. Примером наземного лазерного сканера может служить Leica ScanStation 2. Технические характеристики этого прибора приведены в табл.2.2.

Тип сенсора		импульсный лазерный сканер с двухосевым компенсатором
Количество точек	по горизонтали	20000
	по вертикали	5000

Поле зрения. °	по горизонтали	270
	по вертикали	360
Точность определения положения точки		6 мм на 50 м
Частота сканирования		до 50000 т/с
Максимальное расстояние		до 300 м при отражении 90%
Рабочая температура		-25...+65 ^В С

Табл. 2.2. Технические характеристики лазерного сканера Leica ScanStation 2

Работы по сканированию зачастую приходится проводить в несколько сеансов, так как все поверхности объекта просто не видны с одной точки наблюдения. Затем сканы, полученные с каждой точки наблюдений, совмещаются в единое пространство в специальном программном модуле. Для составления общей поверхности здания на стадии полевых работ необходимо предусмотреть получение сканов с зонами взаимного перекрытия. При этом перед началом сканирования в этих зонах нужно разместить специальные мишени, по координатам которых и будет происходить процесс соединения изображений. Можно совмещать облака точек, используя лишь характерные точки снимаемого объекта, но при этом неизбежна существенная потеря точности съемки.

При сканировании координаты точек обычно вычисляются в системе координат самого сканера. Поэтому необходимо провести дополнительное определение координат как минимум трех мишеней в стандартизированной системе. Чаще всего эта задача решается с помощью без отражательного тахеометра. Трех точек будет достаточно для трансформации координат всего массива данных в необходимую нам координатную систему.

В дальнейшем при систематическом проведении циклов сканирования объекта можно получить смещения каждой точки скана или некоторого массива точек, отвечающего определенному конструктивному элементу. Это позволяет анализировать перемещения конструкции в целом, отдельных элементов относительно друг друга, а также контролировать раскрытие трещин, важных стыков и сочленений.

В настоящее время разработаны автоматизированные системы геодезического мониторинга высотных зданий, такие как GeoMos (Leica Geosystems), Циклоп (Геодезический мониторинг) и другие. Измерения перемещения деформационных марок (деформационных призм, GPS-приемников) в таких системах выполняются различными типами измерительных приборов, которые управляются единой автоматизированной компьютерной системой. Измерительными приборами в этих системах служат высокоточные электронные тахеометры и нивелиры, датчики углов

наклона и спутниковые системы GPS, температурные датчики и т.д. Управляющие блоки таких систем позволяют проводить измерения дистанционно и в автоматическом режиме, с высокими скоростью и точностью.

2.2. Инструментальные наблюдения изменения пространственных характеристик здания

Альтернативой геодезическим методикам контроля пространственных характеристик здания служат инструментальные средства мониторинга, которые также позволяют отслеживать изменения пространственного состояния и геометрических параметров конструкции.

Для измерения отклонения здания от вертикали используются датчики наклона поверхности (наклономеры). Существуют одноосные и двухосные модификации наклономеров, которые оснащаются различными типами сенсоров: твердотельным акселерометром, компенсированным сервоакселерометром, электрическим преобразователем DTE и др.

Наклономеры (рис.2) устанавливаются непосредственно на конструктивные элементы для долговременного автоматического контроля изменения угла наклона поверхности конструкций.

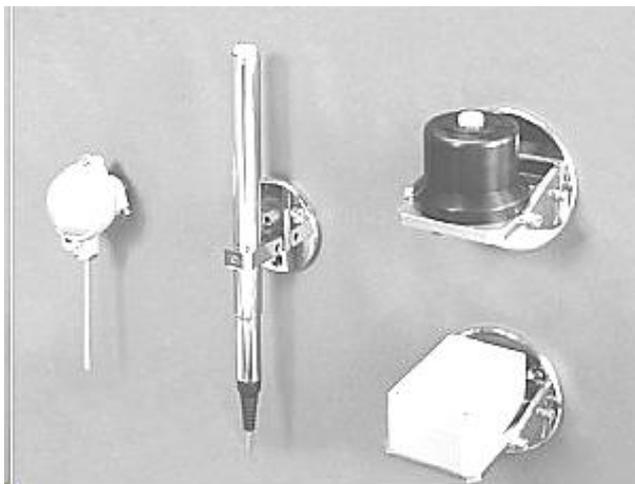


Рис. 2.1. Внешний вид датчиков наклона поверхности

Располагая серию датчиков вдоль вертикальной оси здания на разных этажах, можно контролировать не только изменения угла наклона, но и равномерность изменения этого параметра по высоте. В случае возможной неравномерности в отклонении разных частей здания целесообразно закладывать несколько вертикальных профилей датчиков наклона в каждой из частей конструкции.

Технические характеристики датчиков наклона поверхности в зависимости от типа сенсора представлены в табл.2.1.

Характеристики	Тип сенсора		
	твердотельный акселерометр	серво акселерометр	преобразователь DTE
Полные шкалы	$\pm 10^\circ, \pm 20^\circ$	$\pm 10^\circ, \pm 14.5^\circ, \pm 30^\circ$	$\pm 10^\circ, \pm 20^\circ$
Разрешение датчика	0.001% шкалы	0,001% шкалы	0,05% шкалы
Суммарная точность	$<\pm 0,4\%$ шкалы	$<\pm 0,07\%$ шкалы	$<\pm 0,4\%$ шкалы
Рабочая температура	-40...+85°C	-20...+80°C	от -40...+85°C

Табл.2.1. Технические характеристики датчиков наклона поверхности

Одним из важнейших показателей нарушения нормальной работы конструкции или изменения состояния грунтов основания является неравномерность распределения осадок конструкции здания по площади. Возникновение неравномерных осадок может привести к развитию деформаций, как отдельных элементов, так и конструкции в целом.

Инструментальный контроль неравномерной дифференциальной осадки или подъема конструкции высотных зданий может осуществляться при помощи систем типа DSM.

Система DSM состоит из цепочки датчиков уровня, устанавливаемых на поверхность конструктивных элементов по некоторому выбранному контуру (чаще всего – по внутреннему или внешнему периметру здания).

Датчики соединены трубкой с контрольной емкостью, которая расположена на твердом грунте вне зоны влияния здания, образуя замкнутую гидравлическую систему с заданными начальными значениями давления жидкости для каждого датчика. Вся система заполняется специальной деаэрированной смесью (50% глицерина и 50% воды).

Давление жидкости в каждой точке отражает разницу высотных отметок между датчиками и контрольной емкостью. Соответственно, изменение положения сенсора (осадка или подъем) вызовет пропорциональное изменение давления жидкости. Сопоставление показаний отдельных датчиков между собой позволяет оценить неравномерность осадок. Технические характеристики системы измерения неравномерных осадок DSM даны в табл.2.3.

Характеристики	Тип сенсора	
	высокочувствительный динамометр	линейный потенциометр
Диапазон измерений	± 40 мм	± 100 мм
Разрешение датчика	0.01 мм	0,01 мм
Суммарная точность	±0,1 мм	±0,6 мм

Табл. 2.3. Технические характеристики системы DSM

Единственным существенным недостатком данной системы является **высокая чувствительность** к изменению температуры, поэтому при проведении измерений достаточно важно контролировать температуру в контрольных точках для введения необходимых корректировок.

Существует также модификация системы DSM, разработанная для измерения неравномерности осадок грунтов. В этой системе можно закладывать профили датчиков не только по площади здания, но и вертикально по разрезу для оценки неравномерности развития осадок грунтов по глубине.

Для получения полноценной картины деформационного состояния конструкции высотного здания необходимо **дополнительно контролировать смещения по наиболее деформируемым сочленениям и стыкам**, перемещения элементов конструкции относительно друг друга и раскрытие трещин, так как эта информация напрямую отражает нарушение структурной целостности конструкции.

Данный тип измерений осуществляется при помощи датчиков перемещений (рис.2.2), оснащенных различными типами сенсоров: механическим, электрическим, струнным и др.

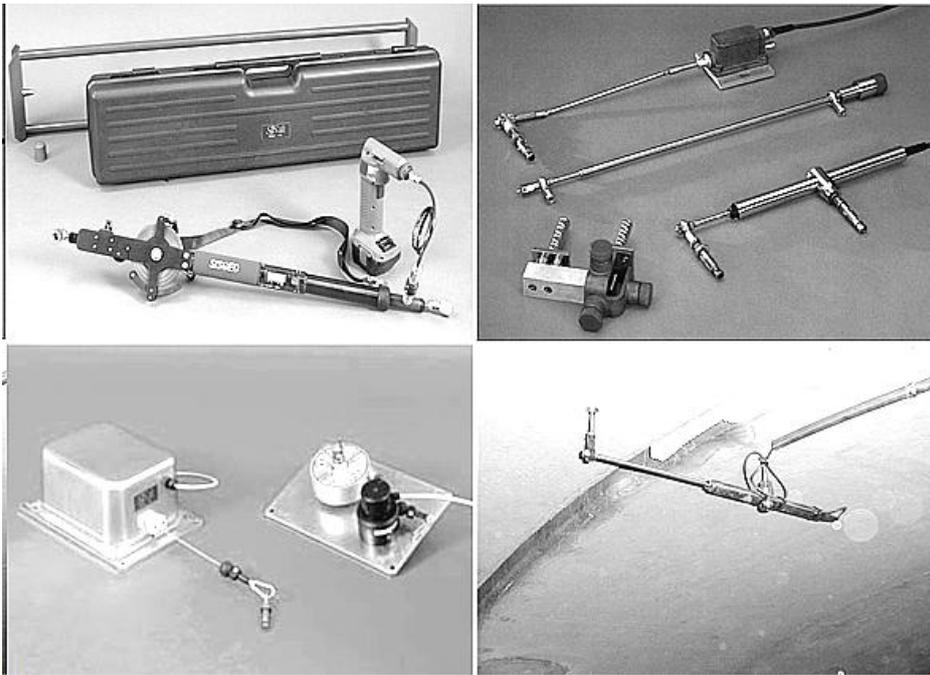


Рис. 2.2. Внешний вид датчиков перемещений

В общем виде приборы измеряют расстояние между двумя контрольными точками, которые располагаются (обычно при помощи анкерного крепления) на обеих сторонах стыка или трещины. Если необходимо производить контроль перемещений в двух (вертикально, горизонтально) или более направлениях, то устанавливается система датчиков, расположенных в разных плоскостях. Технические характеристики датчиков перемещений различных типов представлены в табл.2.4.

Характеристики	Тип сенсора		
	съемный деформометр	линейный потенциометр	струнный
Диапазон измерений	50 мм	10, 25, 50, 100, 150 мм	10, 25, 50, 100, 150 мм
Разрешение	0.01 мм	0,01 мм	0,01
Точность	±0,02 мм	±0,3 % шкалы	0,5 % шкалы

Рабочая температура	-20...+60°C	-20...+60°C	-20...+80°C
---------------------	-------------	-------------	-------------

Табл.2.4. Технические характеристики датчиков перемещений

В зависимости от *поставленной задачи диапазоны измеряемых перемещений могут варьировать* от первых десятков миллиметров (при контроле раскрытия трещин) до первых десятков метров (при необходимости контролировать перемещения отдельных конструктивных элементов относительно друг друга).

3. Контроль состояния грунтового массива в основании и окрестности здания

Грунтовой массив в основании высотных зданий в большинстве случаев представляет собой сложную динамическую систему, характеризующуюся дифференцированным строением, параметры которой в процессе строительства и эксплуатации здания *меняются достаточно интенсивно, а иногда и просто непредсказуемо.*

Отличие реального изменения свойств грунтов основания от расчетных моделей может быть обусловлено как низким качеством проведенных инженерно-геологических изысканий, так и *недостатками самих расчетных моделей и методик*, поэтому при создании полноценной системы мониторинга высотного объекта очень важно, чтобы контроль параметров грунтов (например, осадки) производился *непосредственно в среде.*

Основными параметрами состояния грунтового массива основания являются: вертикальные (осадки) и горизонтальные деформации грунтовой толщи, распределение давления на грунт в основании сооружения и гидрогеологический режим.

Измерение осадок грунтов можно производить как дифференцировано (послойно), так и просто получая общее значение осадки. Контроль горизонтальных перемещений грунтов очень важен для участков со сложным геологическим строением и потенциальной опасностью развития, например оползневых процессов. Гидрогеологические наблюдения могут ограничиваться лишь измерением уровня первого водоносного горизонта, но могут и включать в себя наблюдения за более глубокими горизонтами, поровым давлением жидкости и т.д.

3.1. Мониторинг осадок грунтов основания

Наблюдения за послойными деформациями грунтовой толщи имеет первостепенную важность для участков со сложным геологическим строением, где массив представлен переслаиванием различных типов

осадочных грунтов с разными физико-механическими свойствами. Мониторинг дифференциальных осадок в таком массиве дает информацию о вариациях величины осадки в пределах отдельных инженерно-геологических элементов, что достаточно важно для принятия решений по укреплению грунтов.

Контроль послойных осадок можно производить при помощи скважинных магнитных экстенсометров типа BRS (рис.4), которые представляют собой систему, состоящую из внешней гофрированной трубы, внутренней трубки доступа и набора магнитных колец со специальными фиксаторами в грунте.

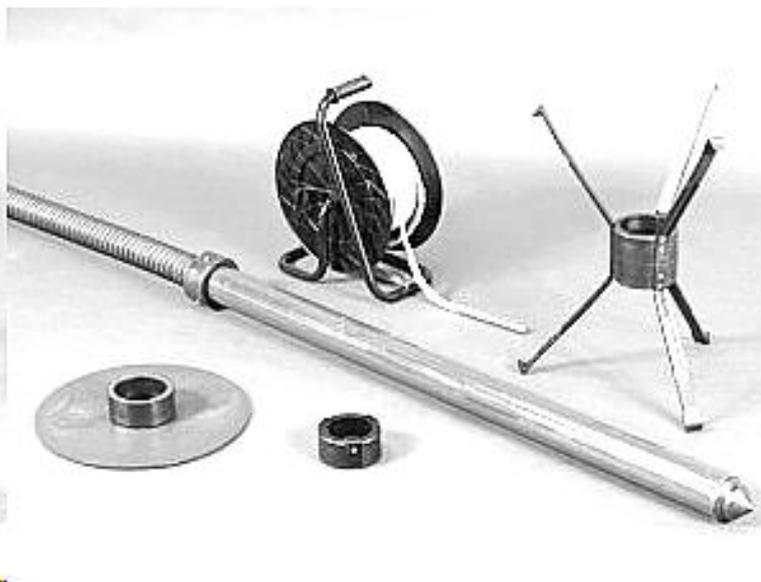


Рис. 3.1. Составные части магнитного экстенсометра BRS

Магнитные кольца (единичные датчики осадки) размещаются по всей длине гофрированной трубы с заданным интервалом с последующим опусканием всей конструкции в скважину. Местоположение и глубина скважины, а также шаг между кольцами определяются по материалам инженерно-геологических изысканий и результатам расчетов.

После установки экстенсометра в грунтовый массив при помощи магнитного детекторного зонда проводится определение начального положения магнитных колец. Затем, по данным измерений, в заданные моменты времени рассчитывают величины поинтервальных смещений колец относительно их начального положения. Изменение расстояния между двумя соседними датчиками соответствует деформации грунта за интересующий период в пределах слоя, расположенного между этими кольцами. Технические характеристики системы BRS приведены в табл.3.1.

Точность единичного определения осадки по скважине		±1 мм
Размеры зонда	наружный	20 мм

	диаметр	
	длина	100 мм
Диаметр антифрикционной трубы		55 мм
Диаметр трубки доступа		32 мм
Интервал рабочих температур		- 40...+80°C

Табл.3.1. Технические характеристики магнитного экстензометра BRS

В дальнейшем эти значения сопоставляются с предыдущими расчетами и строятся графики динамики развития осадок по заданным интервалам. Сопоставляя результаты измерений по нескольким скважинам, можно также оценить неравномерность развития осадок по площади в пределах любого интересующего интервала глубин.

Единственным существенным недостатком данного метода является то, что измерения можно проводить только в автономном («ручном») режиме. Но так как осадка сооружения – довольно длительный процесс, эта проблема решается *путем организации режимных наблюдений*.

Наряду со стандартными геодезическими методиками для контроля общих (суммарных) осадок грунтовой толщи в основании здания перспективно использовать автоматические стационарные системы контроля суммарных осадок грунта – фиксированные экстензометры (рис.3.2).

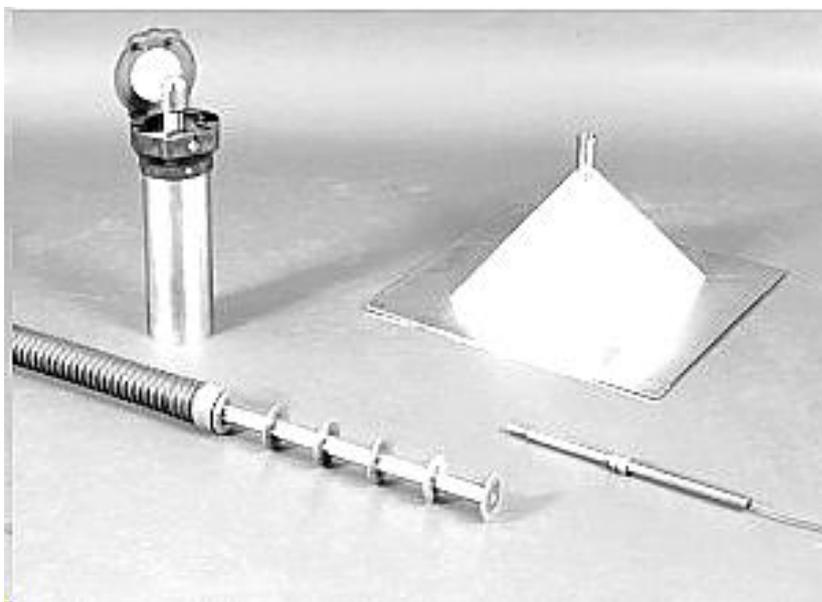


Рис. 3.2. Составные части фиксированного экстензометра

Они состоят из анкера, забуренного в плотные коренные породы (которые принимаются как несжимаемые) и оборудованного в верхней части системой осадочного базиса, и контрольного оголовка с электрической или

оптической нивелировкой верхней части подъемного стержня, которая обеспечивает запись суммарной осадки грунта в автоматическом режиме.

При осадке здания подъемный стержень осадочного базиса поднимается относительно своего первоначального положения. Так как торцевой конец анкера закреплен в несжимаемых породах, то это перемещение, регистрируемое электрическим сенсором в измерительном оголовке, соответствует общей деформации грунтовой толщи между основанием здания и коренными породами. Технические характеристики фиксированного экстензометра представлены в табл.3.2.

Тип сенсора	Электрический преобразователь ДТМ
Диапазон	250. 500. 1000 мм
Суммарная точность	0.25% от шкалы
Выходной сигнал	4-20 мА

Табл. 3.2. Технические характеристики фиксированного экстензометра

При разработке и обоснования проектного решения необходимо учитывать, что контроль общей осадки грунтов не отображает реальной картины уплотнения геологических формаций в основании здания, но, в отличие от систем измерения дифференциальных осадок, может вестись непрерывно в автоматическом режиме. Таким образом, используя обе эти методики в комплексе с режимными геодезическими наблюдениями, представляется **возможным компенсировать недостатки каждого из них** и получить полную картину деформации грунтового массива основания в процессе возведения и эксплуатации здания.

3.2. Контроль горизонтальных перемещений грунта

При потенциальной угрозе развития оползневых процессов разработке глубоких котлованов на участке строительства очень важно иметь информацию о величине горизонтальных смещений грунтов в основании сооружения. Скорость развития таких процессов при воздействии внешних факторов (например, подтопления) может быть достаточно высока, поэтому необходимо проводить непрерывные наблюдения за горизонтальными перемещениями в автоматическом режиме.

Контроль горизонтальных перемещений грунтов может осуществляться с поверхности с использованием геодезических (в том числе спутниковых) методик. Специфика проведения этих работ аналогична геодезическому контролю изменения осадок и пространственного положения объекта, с той лишь разницей, что деформационные марки (GPS-приемники) закрепляются

на поверхности грунта или на торцевом конце анкера, который закладывают на интересующую исследователя глубину.

Альтернативным вариантом контроля горизонтальных перемещений грунтов являются инструментальные скважинные наблюдения. Этот тип измерений осуществляется при помощи различных инклинометрических систем как в «ручном» (при помощи переносных инклинометрических зондов), так и в автоматическом режимах (с использованием стационарных инклинометрических систем).

Измерения при помощи портативного инклинометрического зонда осуществляются в скважинах, обсаженных специальными инклинометрическими колоннами, состоящими из металлических или пластиковых инклинометрических труб с канавками по осям. Канавки в колонне расположены по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, что обеспечивает проведение измерений в двух направлениях. Материал труб выбирается в зависимости от глубины скважины.

Зонд инклинометра (рис.6) представляет собой металлический стержень с направляющими роликами, который оснащен двухосным компенсационным серво-акселерометрическим сенсором. Зонд подсоединяется к катушке сигнального провода, длина которого выбирается в соответствии с глубиной скважины, и опускается в скважину.

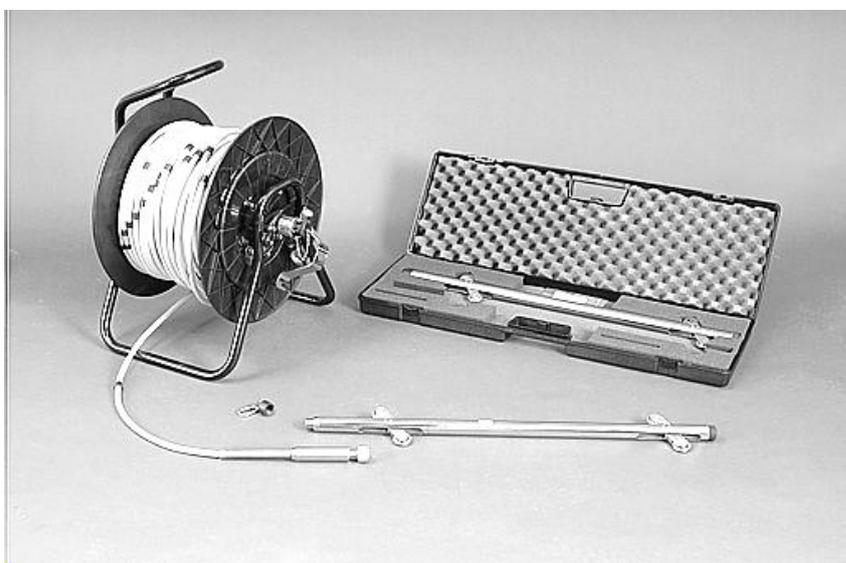


Рис. 3.3. Портативный инклинометрический зонд

При прохождении по колонне зонд измеряет ее отклонения от вертикали, что дает возможность контролировать поперечные смещения грунта. Результаты измерений регистрируются и сохраняются непосредственно в процессе измерений портативным регистратором

Archimed Datalogger. Технические характеристики этой системы представлены в табл.3.3.

Диапазон измерений	$\pm 15^\circ$. $\pm 30^\circ$. $\pm 90^\circ$ от вертикали
Нелинейность + гистерезис	0.02% шкалы
Повторяемость измерений	0.01% шкалы
Точность системы	± 4 мм на 30 м
Рабочая температура	от -20 до $+70^\circ\text{C}$

Табл.3.3. Технические характеристики инклинометрического зоиля

Так как инклинометрическая труба имеет два направления прохождения зонда, то по измерениям в этих двух плоскостях можно судить об общем направлении и величине смещения грунта в области скважины. При сопоставлении результатов измерений в нескольких инклинометрических скважинах можно охарактеризовать направления и величины подвижек во всем объеме массива.

Стационарная инклинометрическая система (рис.3.4.) также состоит из обсаженной инклинометрической колонной скважины, гирлянды инклинометрических зондов, подвешенных на стальном тросе внутри нее. Модификации инклинометрических зондов (тип сенсора и количество осей измерений), устанавливаемых в скважины, определяются поставленной задачей.

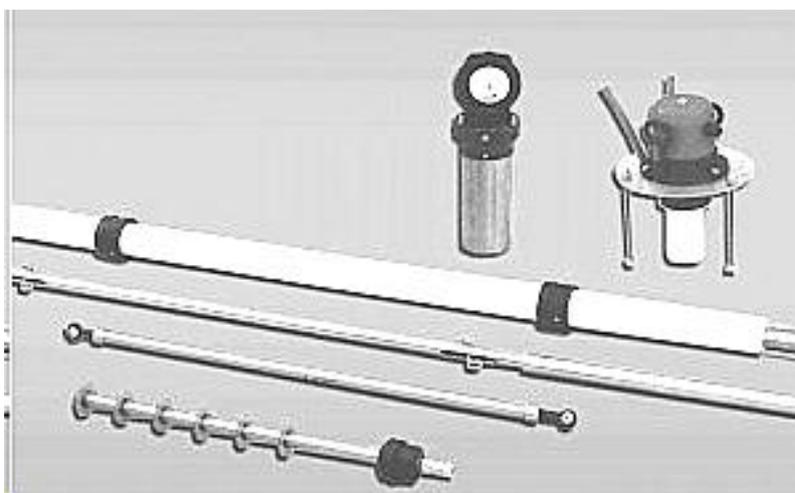


Рис. 3.4. Элементы стационарной инклинометрической системы

Такая система, находящаяся в скважине, позволяет контролировать смещения грунта в автоматическом режиме. Данные измерений могут регистрироваться и анализироваться непрерывно в специальном программном модуле, или сохраняться в течение некоторого времени во

внутренней памяти автоматического регистратора для дальнейшей обработки.

В периоды снеготаяния и выпадения большого количества осадков вероятность интенсивного развития горизонтальных подвижек грунта наиболее высока, поэтому на протяжении этих периодов рекомендуется проводить непрерывные измерения в автоматическом режиме.

Важно, что инклинометрические системы *можно использовать и для мониторинга вертикальных смещений грунта (и даже конструкций)*, закладывая инклинометрические колонны в горизонтальном направлении или сочетая инклинометры с экстензометрами в единой системе. Технические характеристики стационарного инклинометра представлены в табл.3.4.

Характеристики	Тип сенсора		
	магнитно-резистивный	твердотельный акселерометр	компенсированный серво-акселерометр
Диапазон измерений	$\pm 10^\circ, \pm 20^\circ$	$\pm 10\% \pm 20\% \pm 90^\circ$	$\pm 10\% \pm 30^\circ$
Разрешение	0.05% шкалы	0.01% шкалы	0.001% шкалы
Точность	$\pm 0.5\%$ шкалы	$\pm 0.4\%$ шкалы	$\pm 0.07\%$ шкалы
Рабочая температура	-20...+80 °C	-40...+85 °C	-20...+80°C

Табл. 3.4. Технические характеристики системы стационарного инклинометра

3.3. Измерения давления на грунт в основании сооружения

Очень важными параметрами, отражающими совместную работу высотного здания и грунтового массива, являются давление на грунт в основании сооружения и его распределение по площади основания. Существенные различия в величинах давления и резкие изменения этого показателя свидетельствуют о негативных изменениях физико-механических свойств грунтов и возникновении неравномерных осадок.

Контроль этого параметра производится при помощи датчиков давления (с электрическим, струнным, оптоволоконным или гидравлическим сенсором), устанавливаемых непосредственно на грунт в основании сооружения – под фундаментную плиту.

Датчики давления на грунт (рис.3.5.) состоят из камеры давления и измерительного элемента. Камера давления обычно составлена из двух жестких пластин (например, из нержавеющей стали), сваренных вместе по периметру. Внутреннее пространство камеры давления заполняется деаэрированным маслом или другой несжимаемой жидкостью.

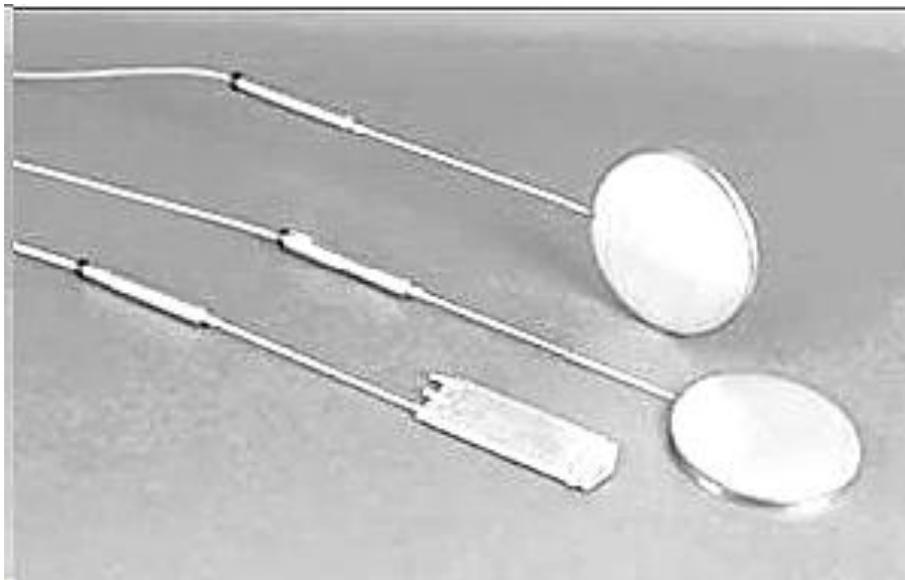


Рис. 3.5. Внешний вид датчиков давления

Давление, воспринимаемое камерой, передается на мембрану измерительного элемента, к которой присоединен сенсор (струнный, электрический или оптоволоконный), который преобразует давление в электрический сигнал. Измерительный элемент может встраиваться в корпус камеры давления или выноситься посредством соединительной трубки. Технические характеристики датчиков давления различных типов представлены в табл.3.5.

Характеристики	Тип сенсора		
	оптоволоконный	струнный	электрический
Диапазон измерений	от 0 до 1 МПа	0.3: 0.5: 0.7: 1; 1.7: 2; 5; 7 МПа	0.2: 0.5: 1:2: 5: 10 МПа
Разрешение	Нет данных	0.025% шкалы	0.01% шкалы
Точность	2% шкалы	<0.5% шкалы	<0,3% шкалы
Рабочая температура	-20...+40°C	-20 ⁰ ..+80°C	-20...+100°C

Табл. 3.5. Технические характеристики датчиков давления

Выбор схемы установки, размера камеры давления и материала, из которого изготовлен датчик, существенно влияет на достоверность получаемых результатов. В процессе изучения различных модификаций датчиков часто оказывается, что модуль деформации материала датчика должен быть не ниже модуля деформации среды (грунта), **а размер и конфигурация камеры давления должны определяться исходя из требований к чувствительности и месту установки.**

Датчики измеряют фактическое давление от здания на грунт в точке их установки под фундаментной плитой. Сопоставление показаний датчиков, установленных по определенной сетке под сооружением, позволяет получить пространственную картину распределения давлений – поле давлений и контролировать динамику его изменения.

3.4. Контроль гидрогеологического режима грунтового массива

Гидрогеологический режим определяет развитие многих процессов в грунтовом массиве, таких как изменение физико-механических свойств грунта при замачивании, карстово-суффозионные, оползневые и т.п. Поэтому на участках с потенциальным развитием опасных геологических процессов наблюдение за изменениями гидрогеологических параметров является одним из основных направлений мониторинга грунтов основания.

В зависимости от гидрогеологических условий участка строительства и поставленных задач гидрогеологический мониторинг может включать в себя различные виды измерений – от контроля уровня воды в скважинах (хлопушкой, ручными или стационарными уровнемерами и пьезометрами) до автоматического мониторинга таких параметров, как поровое давление.

Для измерения колебаний уровня первого от поверхности водоносного горизонта (уровня грунтовых вод) в наблюдательных скважинах могут использоваться различные инструменты от примитивной «хлопушки» до **стационарного скважинного пьезометра**, но наиболее простыми, дешевыми и эффективными являются индикаторы уровня воды (уровнемеры). Уровнемеры – портативные приборы, оснащенные резистивным зондом, подключенным к отградуированному сигнальному кабелю. Когда погружаемый зонд касается воды, активируются звуковой сигнал и световой индикатор, расположенные на лицевой панели катушки кабеля. В дополнение к этому зонд имеет встроенный датчик температуры и может использоваться для измерений температуры в скважине на разных глубинах.

Для наблюдения параметров режима более глубоких водоносных горизонтов используются различные виды пьезометров с электрическим, пневматическим или струнным сенсором.

Пьезометры (рис.9) используются для измерения уровня водоносных горизонтов и порового давления жидкости в разных типах грунтов от водонепроницаемых до водонасыщенных. Датчики размещаются в наблюдательных скважинах на заданной глубине, определенной по материалам инженерно-геологических изысканий.



Рис. 3.6. Внешний вид скважинных пьезометров

Если требуется автоматический контроль колебания уровня определенного водоносного горизонта, ствол скважины оставляют открытым и параллельно проводят измерения колебания атмосферного давления, для введения барометрических поправок при обработке результатов. Если же производится контроль порового давления в грунте, то после установки пьезометра на заданную глубину, ствол скважины выше места установки датчика запечатывается и тампонируется, чтобы исключить эффекта перетока и влияние атмосферных осадков. Технические характеристики скважинных пьезометров представлены в табл.3.6.

Характеристики	Тип сенсора		
	пневматический	струнный	электрический
Диапазон измерений	от 0 до 2 МПа	0.1: 0.2:0.5: 1:2: 5; 10 20 МПа	0.1: 0.2: 0.5: 0.7: 1; 1,7; 2:3; 5 МПа
Разрешение	±0.01 % FS	0,01 % FS	0,025 % FS
Точность	±0.1% FS	<0,3 % FS	<0,5 % FS
Рабочая температура	-20...+60°C	-Ю...+50°C	-20...+100°C

Табл.12. Технические характеристики скважинных пьезометров

4. Мониторинг колебаний конструкции здания сейсмометрическими методами

Для отслеживания изменений колебаний здания (динамических характеристик) необходимо повторение наблюдений для сравнения регистрируемых волновых полей. Исходя из способов получения волновых полей и схем обработки данных, выделяются три группы методик динамического мониторинга.

- возбуждением колебаний здания искусственными источниками – ударами разной силы по зданию или в непосредственной близости от него. Основными недостатками этого метода являются: 1- необходимость создания идентичного воздействующего сигнала для накопления отклика и подавления микросейсм; 2- невозможность обследования всей конструкции здания, так как достаточно сложно возбудить колебания ниже 1 Гц (***диапазон частот, характерный для основного тона собственных колебаний высотных зданий***);

- при воздействии на здание микросейсм и их регистрации на коротких профилях в здании с последующей корреляционной обработкой. Например, при анализе функции когерентности каналов выявляются собственные колебания зданий. Затем проводится построение амплитудных и фазовых распределений по объему сооружения. Характерным недостатком этого метода является возможность включения в обработку колебаний, наведенных на здание от других объектов, при условии подходящего соотношения частот;

- источником, ***возбуждающим собственные колебания здания, являются постоянно присутствующие пульсации атмосферного давления.*** Регистрируются одновременно пульсации давления (микробарографом) и микросейсм по трем компонентам (X, Y, Z), наблюдения могут вестись в одной точке, в том числе вне здания. При обработке выделяют тонкие линии в спектре, анализируют временной ход их амплитуд в сравнении с ходом вариаций атмосферного давления, что позволяет отсеять наведенные колебания от соседних сооружений.

- источником возбуждения являются внешние ***постоянно присутствующие фоновые воздействия*** разного происхождения

Последние два способа представляются наиболее технологичным и экономичным, так как обладает сравнительно низкой себестоимостью и позволяет решать достаточно широкий круг задач:

— определение собственных частот колебаний зданий и слежение за изменением их во времени;

— построение в разных точках траекторий движения собственных колебаний, на этой базе – получение картины деформаций;

- выявление нарушений в конструктивных связях;
- наблюдение за особенностями совместной работы здания с грунтами основания, в том числе появление так называемой присоединенной массы грунта к фундаменту после возведения здания.

Важным вопросом организации сейсмометрического мониторинга является подбор датчиков и их размещение. Размещение датчиков по зданию определяется его архитектурно-планировочным решением. Существенную роль играют также результаты аэродинамических испытаний макетов.

Основные параметры для выбора типа датчика – частотный диапазон и чувствительность. Несомненно, что сейсмометр должен регистрировать собственные колебания основного тона и нескольких более высокий гармоник. Для высотных зданий основной тон лежит в диапазоне менее 1 Гц (обычно 0,2-0,8 Гц), частоты выше 25-30 Гц регистрировать нецелесообразно (полезный сигнал маскируется помехами). Таким образом, мониторинг должен вестись датчиками, ориентированными на сейсмологические наблюдения. Примером оборудования, используемого для мониторинга колебаний здания, могут служить велосиметр Guralp CMG-3ESPC и акселерометр Guralp CMG-5T.

5. Научно-техническое сопровождения проектирования и строительства высотных зданий как процесс мониторинга

В настоящее время считается обязательным на стадии «Проектная документация» разрабатывать программу научно-технического сопровождения и геотехнического мониторинга для высотных зданий. Нормативные документы рекомендуют начинать работы по мониторингу до выполнения строительно-монтажных работ (включая работы по устройству защитных мероприятий) и продолжать в течение, как правило, 2 лет после окончания строительства высотного жилого дома.

Наблюдения в рамках геотехнического мониторинга проектируемых высотных зданий могут проводиться периодически (циклично) либо автоматически (в режиме «online»). Решение по выбору системы наблюдений (периодическая или автоматическая) принимается организацией заказчика в зависимости от финансово-экономических и материально-технических условий. Наиболее современным способом наблюдения за деформациями строящихся объектов и существующей застройки являются постоянно действующие системы, в которых измерения, обработка и анализ данных, а также пересылка их пользователю осуществляется автоматически в режиме «online».

Основной идеей такого мониторинга является организация многофункциональной системы мониторинга посредством объединения различных по назначению и типу измерительных устройств под управлением одной программы. Пример принципиальной схемы организации системы мониторинга на строительной площадке представлен на рис.5.1.

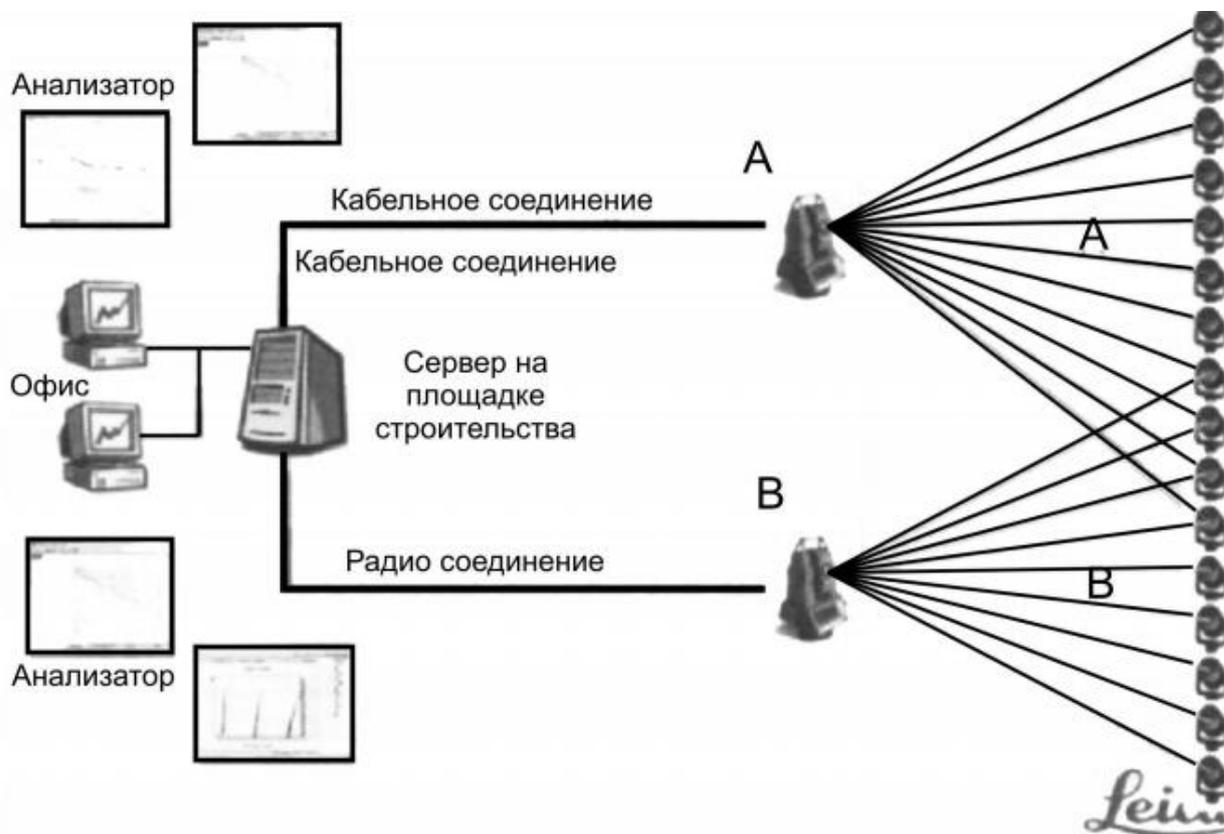


Рис. 5.1. Пример принципиальной схемы организации системы постоянно действующего мониторинга за строящимся зданием в режиме «online»

5.1. Разработка программы проведения научно-технического сопровождения

В разделе проекта может быть рассмотрен ряд вопросов по нормативно-техническому регулированию научно-технического сопровождения строительства (далее – НТСС) уникальных зданий и сооружений:

- взаимодействие участников строительного производства со специализированной организацией, выполняющей комплекс работ по НТСС;
- процедура внедрения и согласования программы НТСС в реализацию проекта;
- представлены организационно-технологические аспекты, формирующие программу НТСС.

Необходимо учитывать, что за неимением достаточного количества источников, обладающих информацией по проведению НТСС, где была бы

отражена четкая методология и программа проведения данных видов работ, возникает необходимость систематизации различных организационно-технологических аспектов и формирование их в единую программу проведения НТСС. Желательно предлагает план-схему по взаимодействию всех участников строительного производства, с вовлечением в строительство уникального здания специализированной организации, выполняющей комплекс работ по НТСС. Следует отметить, что сама программа НТСС предлагается научно-техническим сопровождением проектирования (далее – НТСП), а ее доработку и утверждение у технического заказчика, осуществляет непосредственно организация, выполняющая комплекс работ по НТСС.

Необходимо представить программу проведения НТСС, включающая в себя следующие группы организационно-технологических аспектов:

- мониторинг,
- геотехнический мониторинг,
- контроль состава производственной документации,
- контроль качества выполнения строительно-монтажных работ.

Следует указать, что в дальнейшем данная программа может иметь ряд уточнений или изменений с точки зрения оптимизации выбранных аспектов.

Стоит отметить, что уникальные здания и сооружения имеют повышенный уровень ответственности согласно Федеральному закону от 30.12.2009 N 384-ФЗ статье 4, строительство которых, в свою очередь, должно предусматривать научно-техническое сопровождение при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, а также их технический мониторинг при возведении и эксплуатации согласно ГОСТ 27751-20144.

При реализации современных строительных проектов уникальных объектов, сталкиваются с мнением участников строительного производства, о том, что существующей системы проведения контроля качества строительных работ, недостаточно для обеспечения принципиально новых требований и вызовов, которые в свою очередь с каждым годом только возрастают. Поэтому каждая разработанная система носит исключительно базовый характер, и не направлена на комплексный анализ, отражающий всех необходимых решений по контролю за выполнением работ при возведении уникальных зданий. Поэтому создание программы научно-технического сопровождения строительства является актуальной темой для решения возникающих вопросов, при строительстве каждого отдельного здания или сооружения. Также следует отметить, что при строительстве такого типа зданий требуется применение системно-комплексного метода реализации строительных проектов, где главной целью будет являться

нахождение тех оптимальных организационно-технологических аспектов, для необходимого и достаточного количества работ по выполнению НТСС.

Имеется ряд документов, носящих рекомендательный статус, где описана более общая концепция по проведению работ по НТСС:

- Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных «МРДС 02-08».

- Технические рекомендации по научно – техническому сопровождению и мониторингу строительства больше пролетных, высотных и других уникальных зданий, и сооружений «ТР 182-08».

Но на сегодняшний день описанная концепция не содержит в себе единой программы проведения конкретных видов работ по НТСС.

Под определением научно-технического сопровождения строительства принимают комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно- контрольного и организационного характера, осуществляемых специализированными организациями в процессе изысканий, проектирования и возведения объектов строительства для обеспечения качества строительства, надёжности (безопасности, функциональной пригодности и долговечности) зданий и сооружений, с учётом применяемых нестандартных проектных и технических решений, материалов и конструкций.

Основные этапы участия научно-технического сопровождения при реализации строительства объекта

Важно что НТСС предусматривается техническим заданием на конкретные этапы выполнения работ по реализации уникального проекта. На различных стадиях можно выделить следующие основные функции НТСС:

1. Стадия проектирования:

- Изучение проектной документации.
- Разработка и утверждение программы НТСС для конкретного объекта, с учетом его особенностей совместно с техническим заказчиком.
- Заключение договора на предоставление выполнения работ по НТСС.

2. Стадия строительство:

- Проведение научно-технического сопровождения на всех этапах строительства согласно утвержденной программе НТСС.

3. Стадия пусконаладочных работ и ввода объекта в эксплуатацию:

- Участие в приемно-сдаточных мероприятиях

Для более детального понимания внедрения программы проведения работ по НТСС должна быть сформирована план-схема проведения научно-технического сопровождения участниками строительного производства пример которой изображен на рис. 5.2.

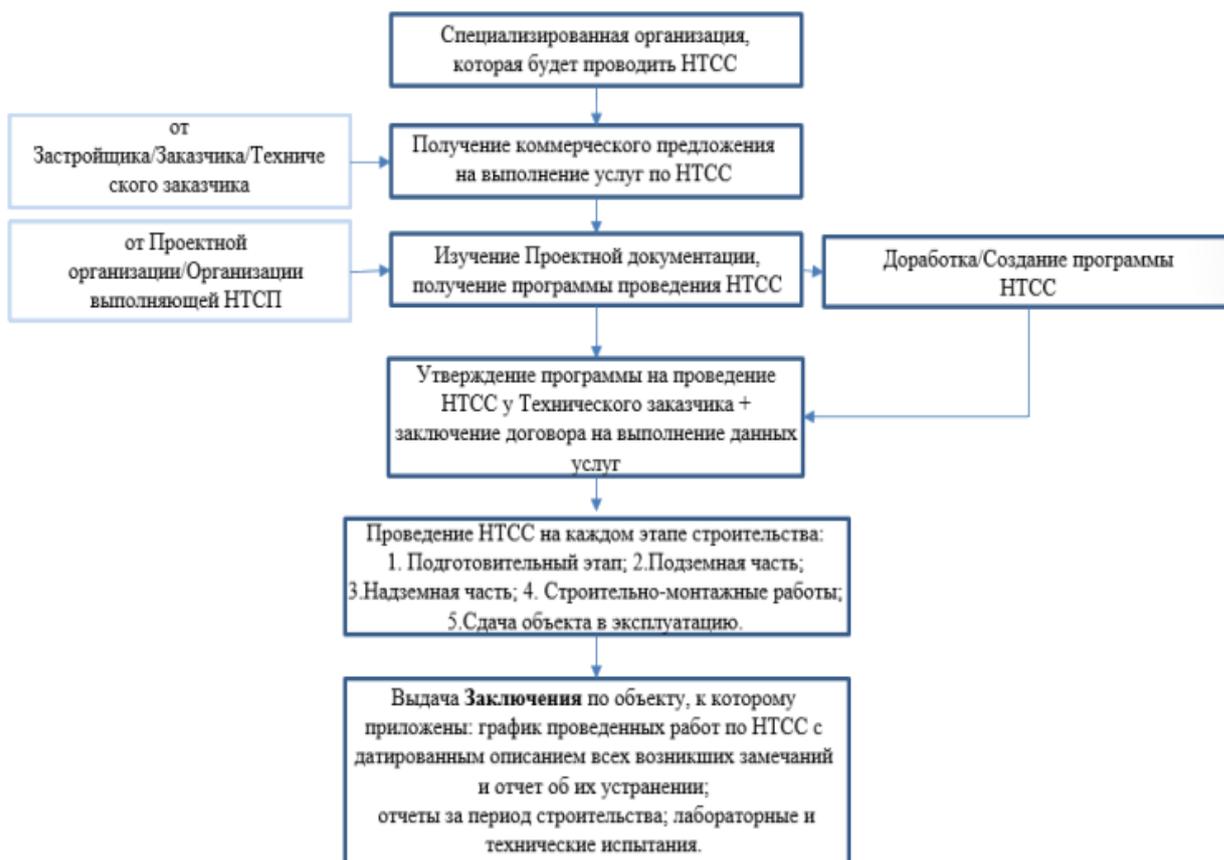


Рис. 5. 2. План-схема взаимодействия участников строительства при проведении научно-технического сопровождения

При этом одной из основных целей НТСС является – содействие совместной работе всех участников строительного процесса (инвестора, заказчика, подрядных организаций, включая проектные, изыскательские, строительные, испытательные лаборатории и органы по сертификации продукции и услуг) для обеспечения качества и безопасности строительства.

В представленной план-схеме на рис. 5.2. присутствует блок под названием «Изучение проектной документации, получение программы проведения НТСС». Данная часть схемы с прилегающим к ней блоком «Доработка программы НТСС» строится на основе того, что программу научно-технического сопровождения строительства специализированная организация будет получать от организации, проводящей научно-техническое сопровождение проектирования. Но как доказывалось ранее, конкретной существующей программы нет, и для строительства каждого из

уникальных объектов должна разрабатываться своя индивидуальная программа.

5.2. Разработка концепции научно-технического сопровождения и геотехнического мониторинга при возведении и эксплуатации высотного здания

Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства - это *комплекс работ, направленный на анализ и координацию различных аспектов, связанных с изысканиями, проектированием и строительством высотного здания*. Научно-техническое сопровождение и геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации должны выполняться квалифицированными специалистами ведущих научно-производственных и проектных организаций в соответствии с *утвержденной и согласованной в должном порядке программой, прилагаемой к настоящему разделу*. При проведении научно-технического сопровождения и геотехнического мониторинга в соответствии с программой должны решаться следующие основные задачи:

- проверка достоверности выполненных перед проектированием инженерно-геологических изысканий;
- оценка конструктивных и технологических решений при проектировании оснований, свайных фундаментов и ограждающих конструкций;
- сопоставительный анализ и сверка результатов расчетов с полученными при мониторинге инструментальными измерениями деформаций и напряжений;
- предупреждение и оперативное устранение негативных процессов при научно-техническом сопровождении и геотехническом мониторинге на объекте.

Примером основных факторов, определяющих влияние возведения глубокого котлована под высотное здание, приведены на рис.5.3. Отдельные примеры методики мониторинга за ответственными зданиями, приведены на рис.5.4-15.11. На основании накопленного отечественного и зарубежного опыта периодические (циклические) либо автоматические (в режиме «online») инструментальные наблюдения за состоянием ограждающих конструкций подземной части здания будут заключаться в следующем:

- в инструментальном определении фактических величин осадок, разницы осадок и крена несущих конструкций подземной и надземной частей здания (рис.5.4, 5.10-5.11);
- в инструментальных измерениях горизонтальных перемещений ограждающей конструкции стен подземной части по ее высоте при помощи инклинометра (рис.5.4, 5.5 и 5.6), а также лазерным сканированием или одним из методов инженерной геодезии (например: методом створных наблюдений, полигонометрии, фотограмметрии);

- в замере температуры (в период календарного года с отрицательной температурой воздуха), в связи с наличием инженерно-геологических элементов, обладающих специфическими свойствами, например пучинистыми грунтами - от слабопучинистого ($R_f \times 10^2 = 0,12 \dots 0,48$) до сильнопучинистого ($R_f \times 10^2 = 0,86$);
- в определении усилий в бетоне и арматуре (рис.6-8).
- в инструментальном определении фактических величин напряжений в контактной зоне грунта основания и в массиве сжимаемой толщи (рис.5.10).



Рис. 5.3. Факторы, определяющие влияние возведения глубокого котлована под высотное здание

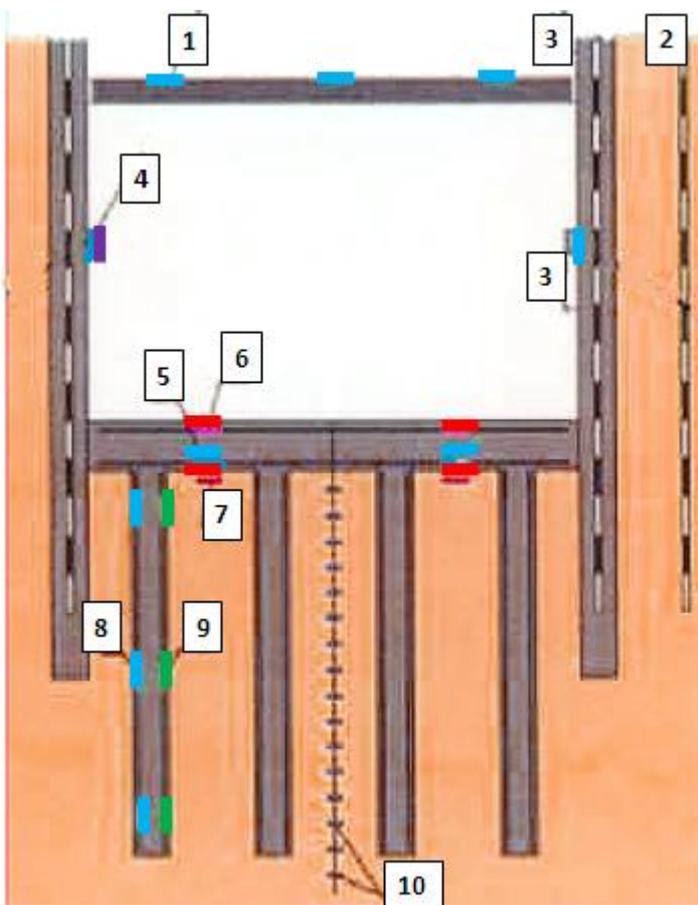


Рис. 5.4. Примерная схема размещения приборов и оборудования для мониторинга грунтов основания и конструкций подземной части здания:

- 1- датчик для измерения усилий в распорках;
- 2 – инклинометрическая скважина;
- 3 – стенная марка;
- 4 – динамометр для измерения усилий в анкерах;
- 5,6 – датчики для измерения напряжений в бетоне и арматуре плитного ростверка;
- 7 – датчик для измерения давления грунта под плитным ростверком (фундаментной плитой);
- 8,9 – датчики для измерения напряжений в бетоне и арматуре сваи;
- 10 – марки для измерения послойной деформации грунта

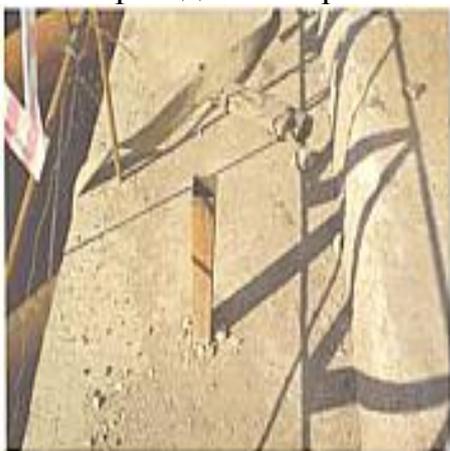


Рис.5.5. Рис.5.6. Пример выполнения инклинометрической скважины в «стене в грунте» Общий вид инклинометра фирмы SISGEO

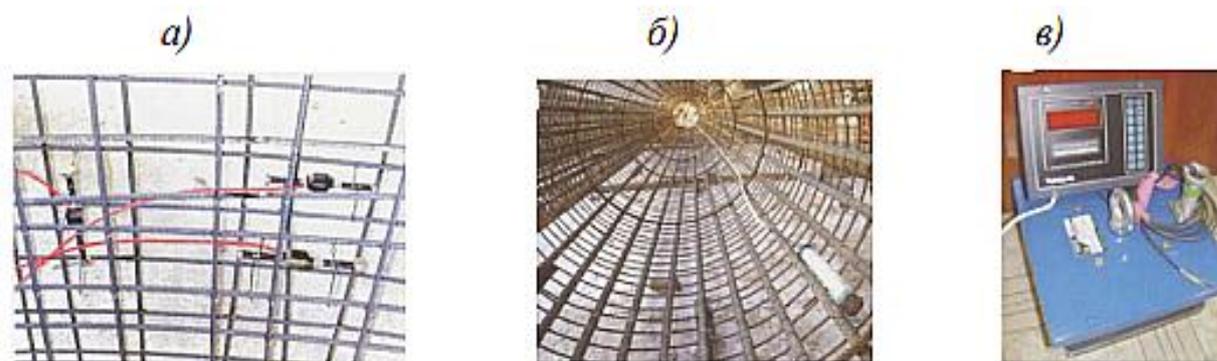


Рис.5.7. Примеры установки датчиков для определения усилий в арматуре различных конструкций и общего вида измерительных приборов: а - тензодатчики, смонтированные на арматуру плиты в двух направлениях перед бетонированием; б - струнный датчик для определения усилий в бетоне буронабивной сваи; в - тензодинамометр и вторичный прибор для определения усилий в бетоне забивной сваи

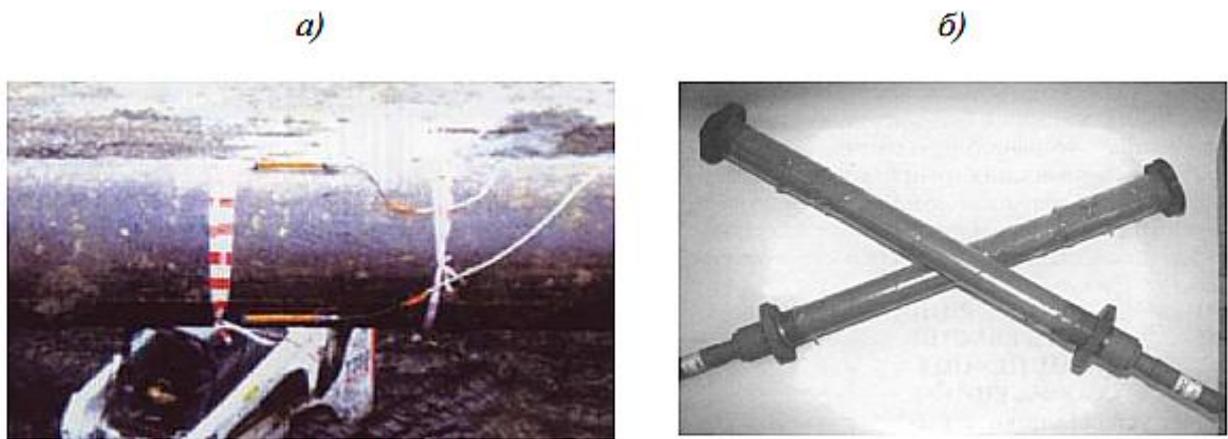


Рис.5.8. Пример установки струнного датчика на распорке ограждения котлована: а – общий вид места установки; б – струнный датчик ПЛДС-400

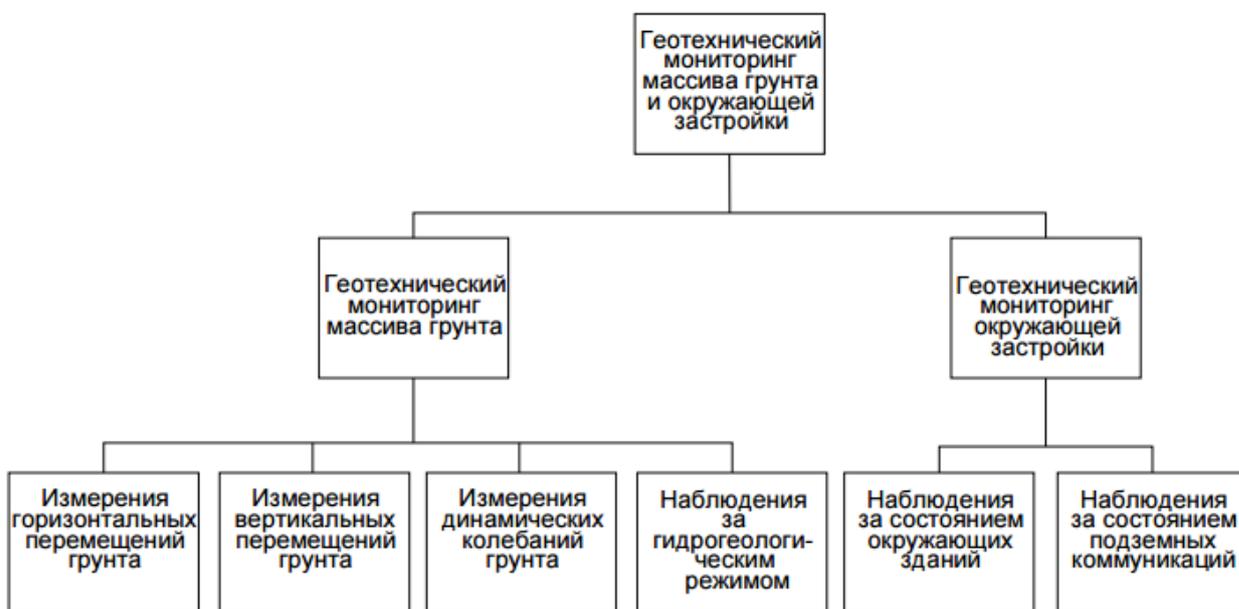


Рис.5.9. Примерный состав геотехнического мониторинга массива грунта в основании возводимого здания повышенной этажности и окружающих его зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния



Рис.5.10. Общий вид способа установки датчиков давления в грунтах: а – общий вид датчиков давления; б – установка датчиков давления на грунт, под подошвой фундамента перед бетонированием

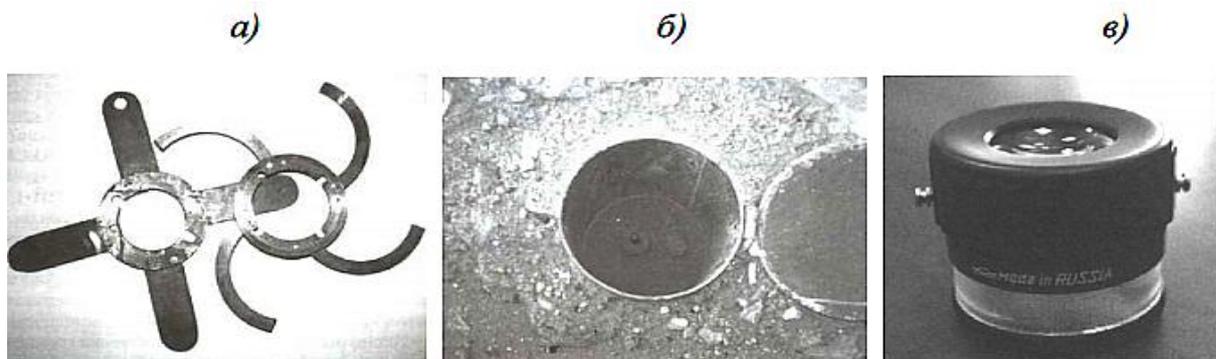


Рис.5.11. Примеры использования измерительных приборов, приспособлений и марок для измерения деформаций грунтов и конструкций при мониторинге зданий и сооружений:

- а - различные виды кольцевых марок для измерения послойных деформаций грунта, устанавливаемых в специально оборудованных скважинах, как правило, с помощью экстензометров или кольцевых марок;
- б - пример оборудования поверхностной грунтовой марки, располагаемой на профильной линии со средним шагом 6–8 м;
- в - общий вид оптического трещиномера

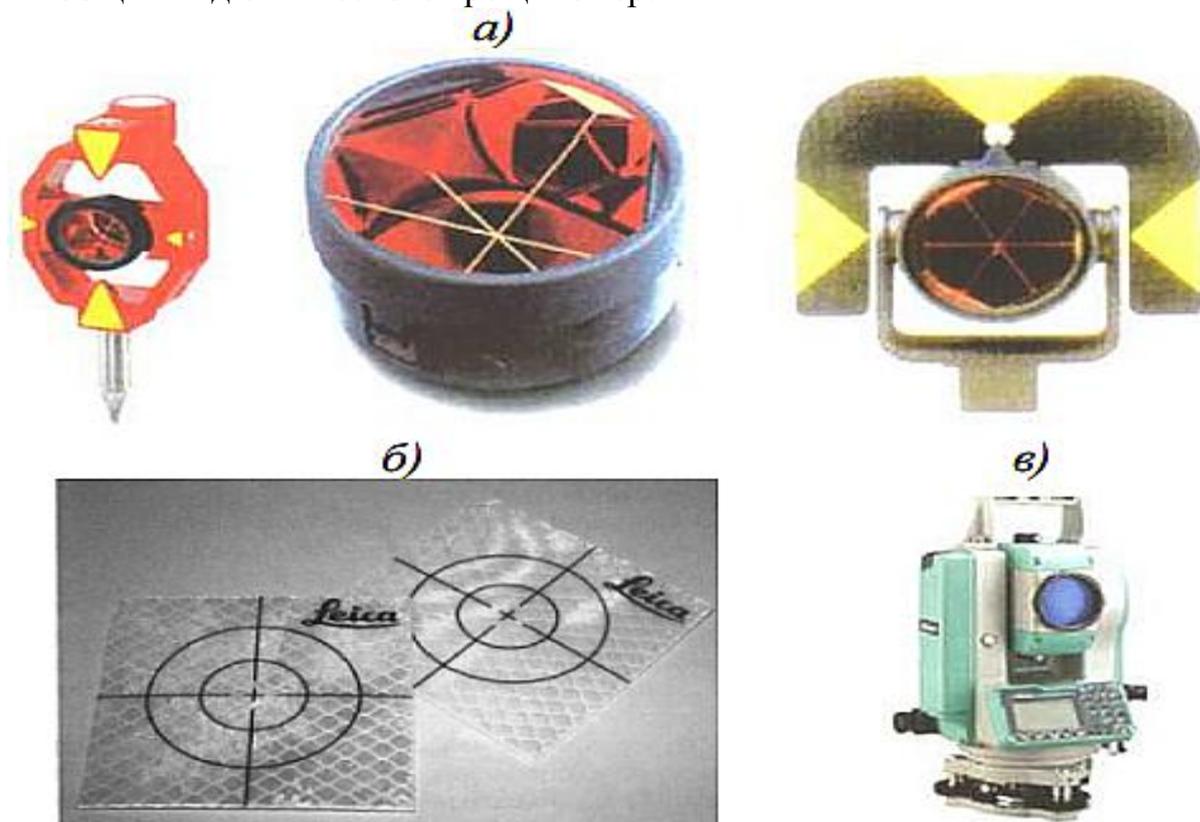


Рис.5.12. Примеры различных геодезических приборов, инструментов и оборудования, применяемых при проведении инструментального

геодезического контроля в процессе мониторинга зданий повышенной этажности и высотных зданий:

а - различные виды призмических отражателей;

б - пленочные отражатели фирмы Leica;

в - автоматический тахеометр фирмы Leica

5.3. Оформление проекта научно-технического сопровождения и мониторинга

5.3.1. Пример оформления исходных данных к проекту мониторинга

В качестве примера рассматривается 24-этажное здание с четырехэтажным подвалом и стилобатной частью. Некоторые фрагменты проекта представлены на рисунках ниже.

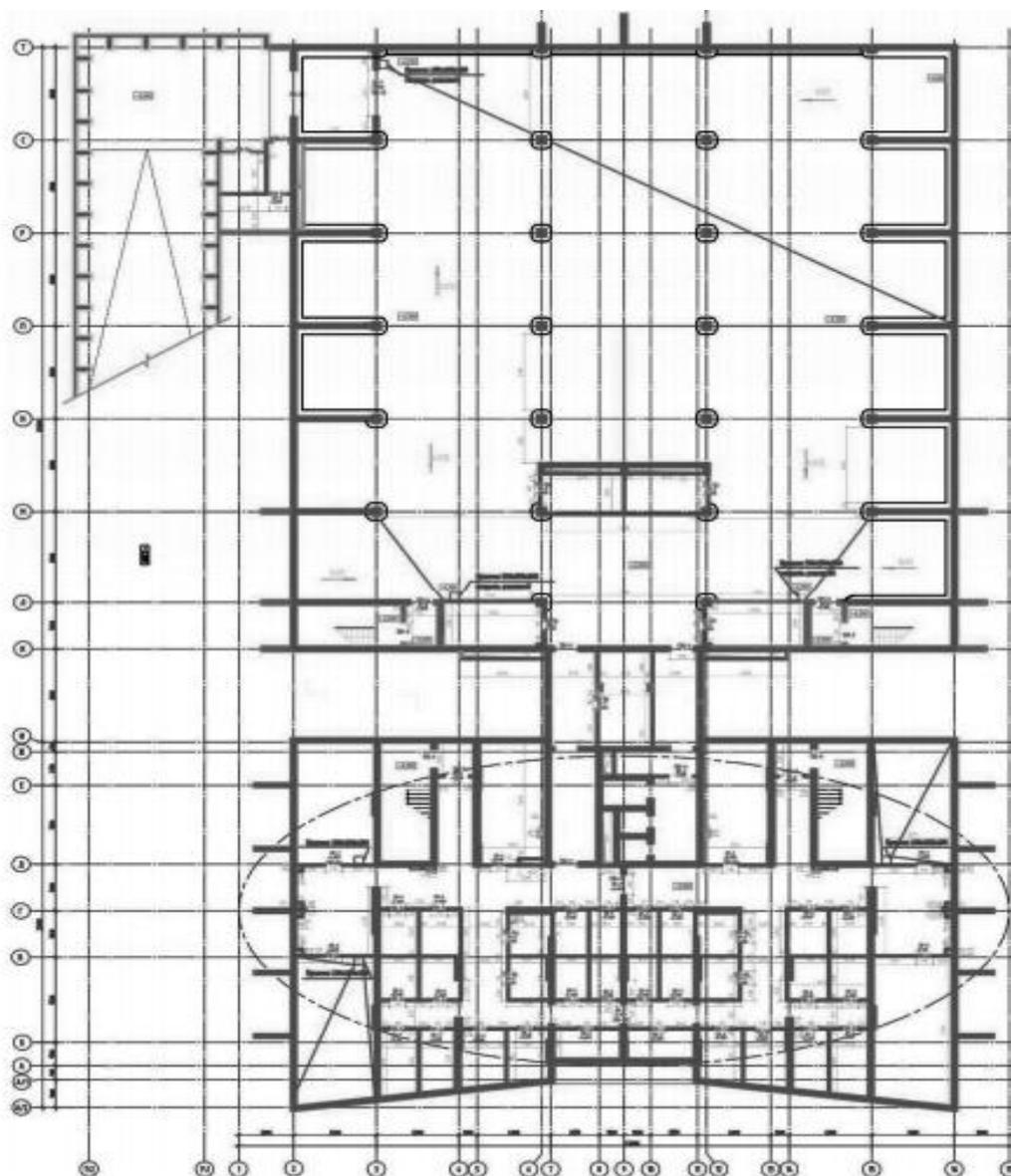


Рис.5.13. Схема плана подвала здания

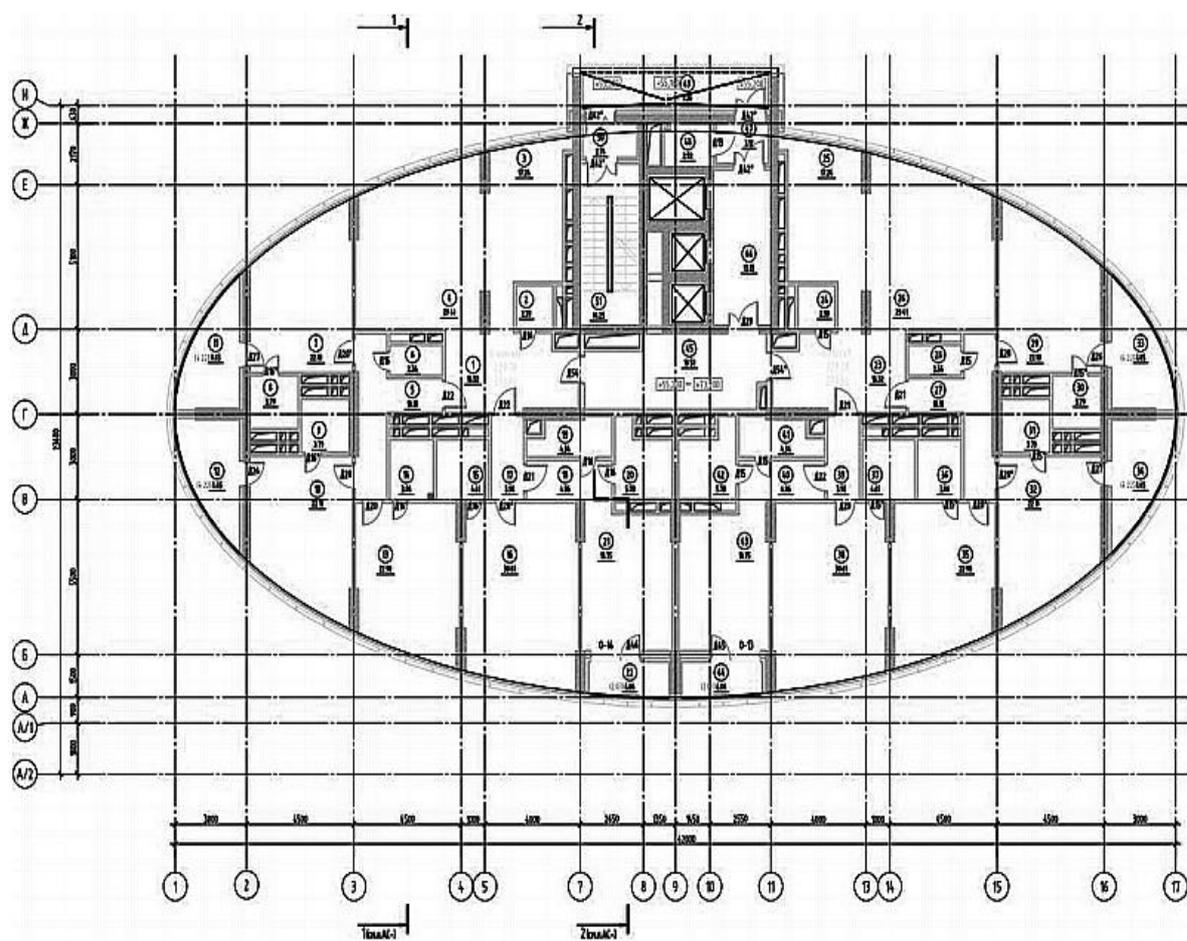


Рис.5.14. План первого этажа высотной части здания.

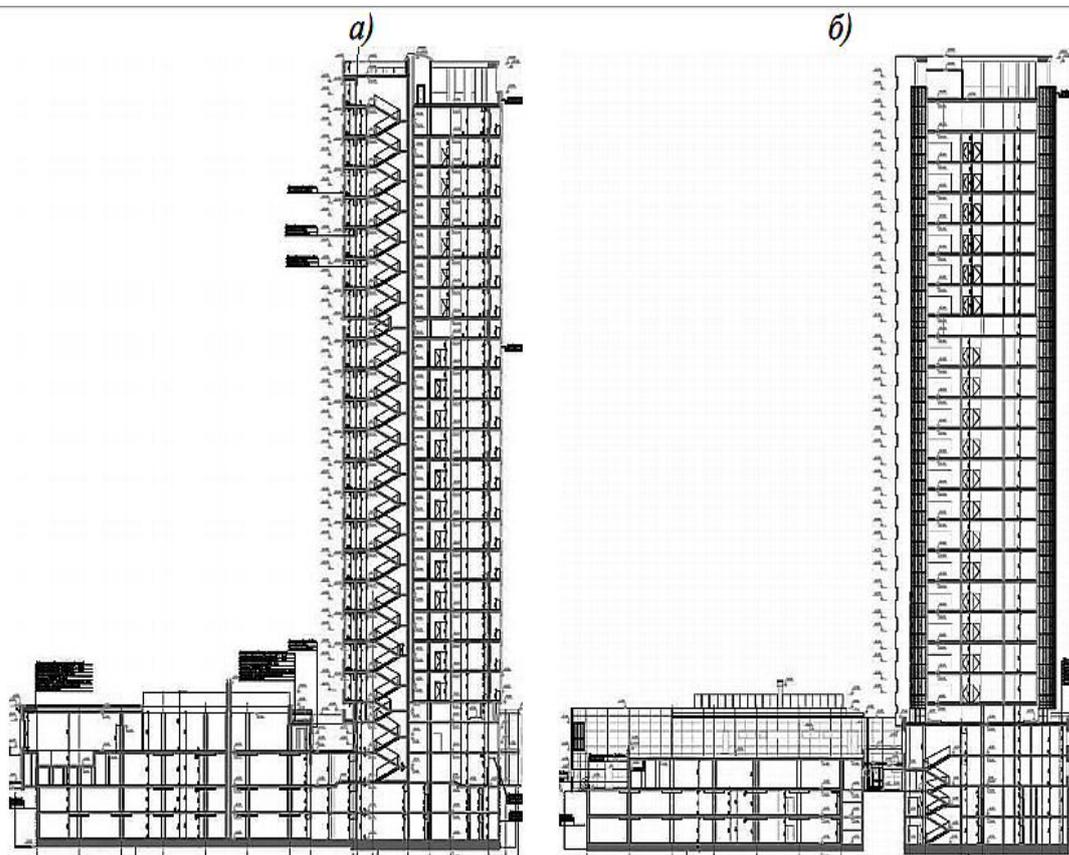


Рис. 5.15. Поперечные разрезы по зданию: а – 1-1 и б – 2-2.

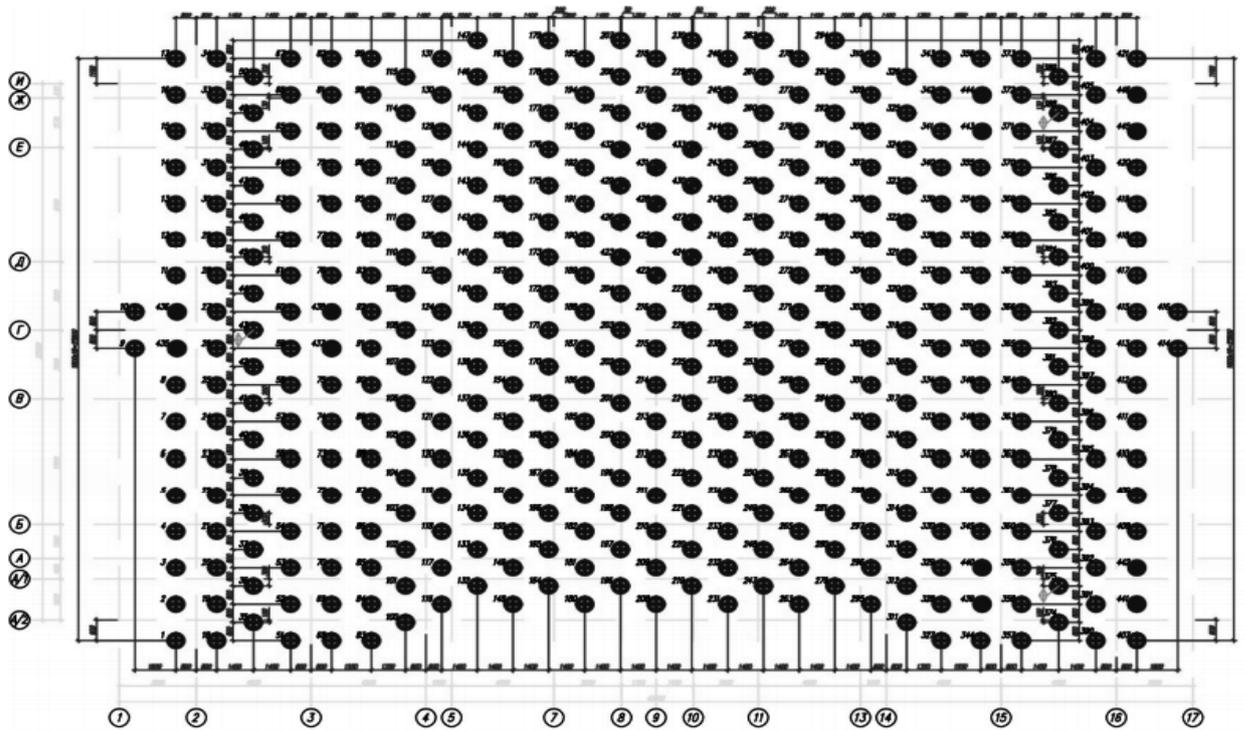


Рис.5.16. План свайного поля

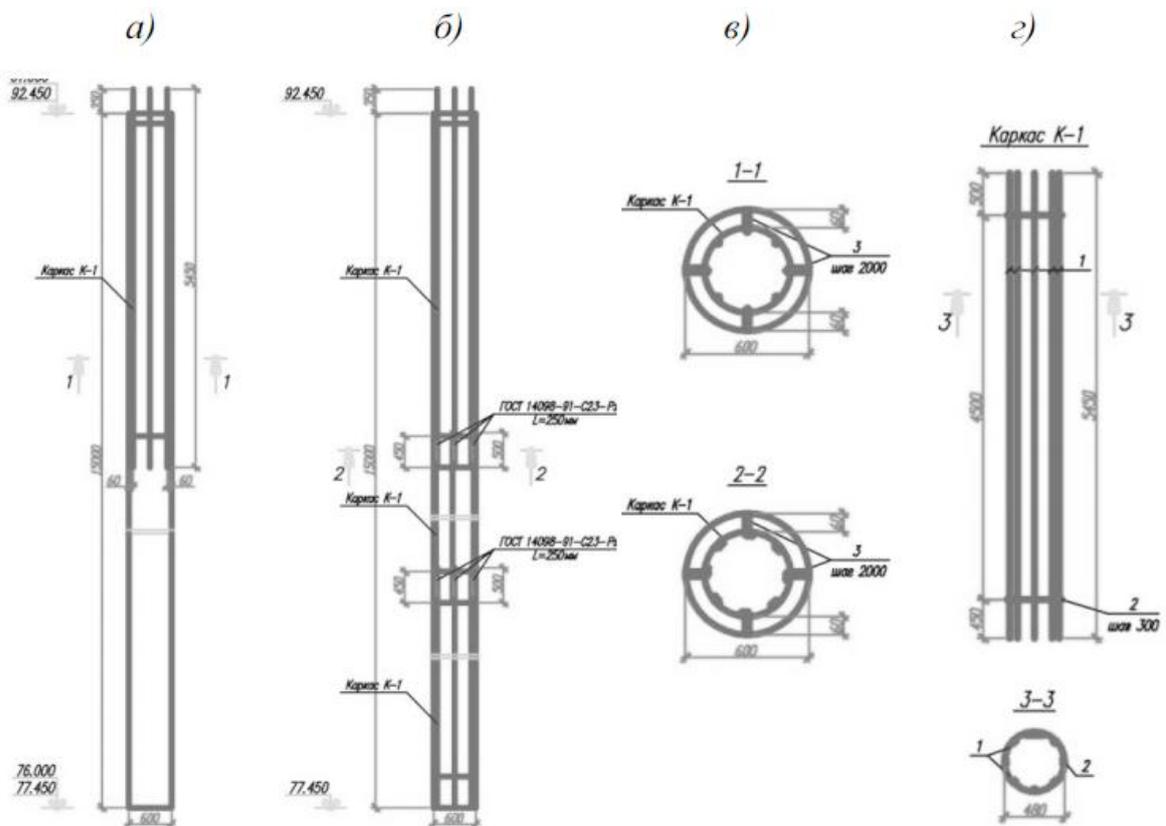


Рис.5.17. Конструкции: буронабивных свай БС-1 (а) и БС-2 (б); в – поперечные сечения 1-1 и 2-2 по БС-1 и БС-2; г – секции арматурного каркаса К-1 для БС-1 и БС-2

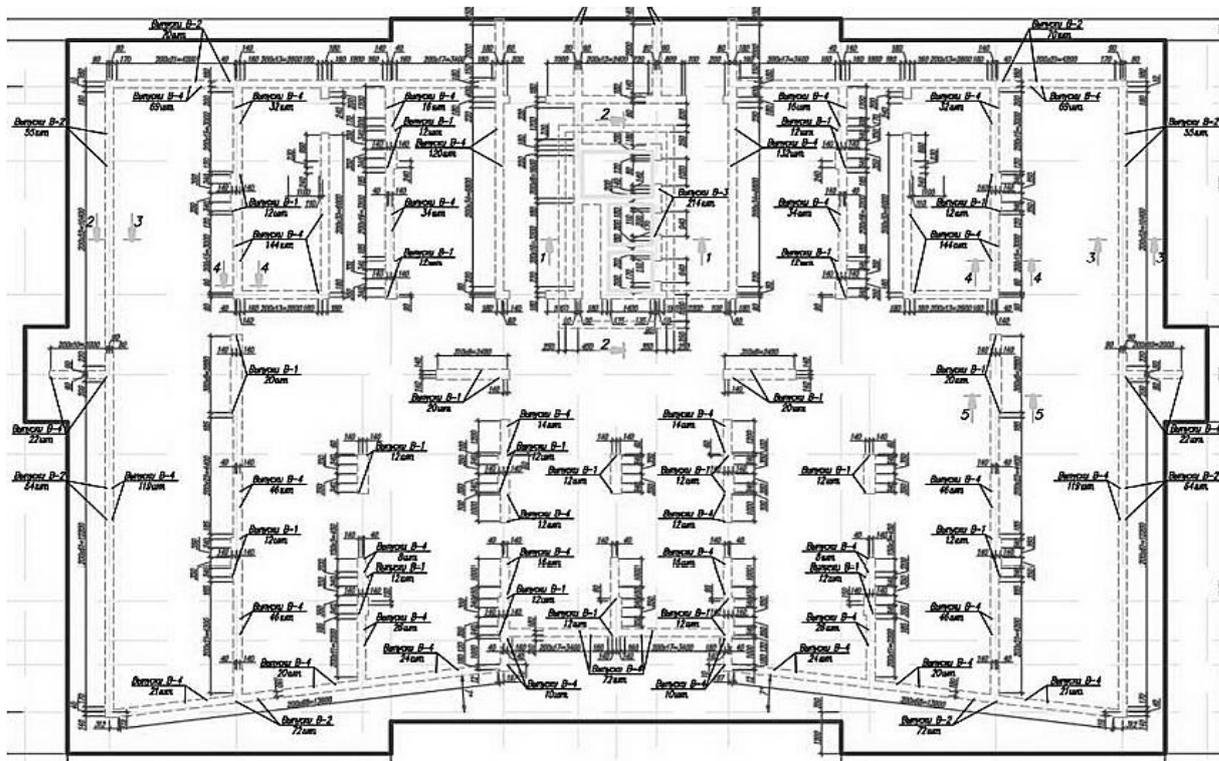


Рис.5.18. Опалубочный план плитного ростверка комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ)

5.2.3. Анализ инженерно-геологических условия площадки строительства под здание

Инженерно-геологические изыскания по объекту выполнены для обоснования проектных решений в соответствии с техническим заданием. По результатам выполненных инженерно-геологических изысканий толща грунтов основания проектируемых высотного жилого дома и подземного гаража является неоднородной, в ее пределах выделяется 9 инженерно-геологических элементов. Несущими грунтами будут служить суглинки полутвердые, твердые ИГЭ № 3а, суглинки тугопластичные ИГЭ № 3б, супеси твердые ИГЭ № 4а, пески пылеватые ИГЭ № 5 и пески мелкие ИГЭ №№ 6 и 6а, пески средней крупности ИГЭ №№ 7 и 7а. Насыпные грунты ИГЭ № НС при проектируемой глубине заложения фундаментов 4,1–4,5 м попадают под срезку и не будут служить основанием проектируемого сооружения.

В случае применения свайных фундаментов рекомендуется руководствоваться частными значениями предельного сопротивления забивных свай по набору глубин и несущей способности свай при заданных заглублениях. Для уточнения несущей способности свай рекомендуется выполнить их испытание статическими нагрузками, согласно СП 11-105-97 и

ГОСТ 20276-85. На период бурения скважин, на площадке встречен один четвертичный водоносный горизонт, вскрытый на глубине 41,5-43,8 м (абс. отметки 55,82 -56,0 м БС). Установившийся уровень зафиксирован на тех же глубинах и абсолютных отметках.

Водовмещающими грунтами являются пески мелкие и средней крупности ИГЭ №№ 6а,7а. Вскрытая мощность водоносного горизонта - 7,2-8,5 м. Водоупор не вскрыт.

Горизонт грунтовых вод имеет тесную гидравлическую связь с гидрогеологическим режимом вблизи расположенной реки.

Степень агрессивного воздействия грунтов ниже уровня грунтовых вод на конструкции из углеродистой стали – слабоагрессивная (рН- 7,4 - 7,7; суммарная концентрация сульфатов и хлоридов 0,73 - 0,78 г/л).

По степени морозоопасности, определенной по влажности грунтов в соответствии с п. 2.136 т.36 «Пособия ... к СНиП 2.02.01-83», грунты являются:

- ИГЭ № 3а – слабопучинистые (параметр $R_f \times 10^2 = 0,12$); ИГЭ № 3б – сильнопучинистые (параметр $R_f \times 10^2 = 0,86$);

- ИГЭ № 4а – слабопучинистые (параметр $R_f \times 10^2 = 0,48$). Глубина сезонного промерзания для суглинков принимается согласно «Пособию...к СНиП 2.02.03» – 1,7 м.

Характер размокания суглинка полутвердого, твердого ИГЭ № 3а – быстрый и очень быстрый, суглинка тугопластичного ИГЭ № 3б – очень медленный, супеси твердой ИГЭ № 4а – очень быстрый и мгновенный .

Суглинки ИГЭ № 3а обладают слабо-сильнонабухающими свойствами (величина относительного свободного набухания суглинков – 0,04 – 0,15, среднее значение 0,10; влажность набухания суглинков – 0,24 – 0,31, среднее значение – 0,27).

Суглинки ИГЭ № 3б обладают слабонабухающими свойствами (величина относительного свободного набухания суглинков – 0,06; влажность набухания суглинков – 0,26);

Супеси ИГЭ № 4а обладают слабо-сильнонабухающими свойствами (величина относительного свободного набухания супеси - 0,07 - 0,18, среднее значение 0,13; влажность набухания супеси - 0,23 - 0,31, среднее значение - 0,29).

По совокупности факторов, указанных в обязательном приложении «Б» СП 11-105-97, *площадка изысканий относится к III категории сложности инженерно-геологических условий (более 4 ИГЭ в инженерно-геологическом разрезе, наличие набухающих грунтов, наличие сильноагрессивных насыпных грунтов).*

Отрицательных физико-геологических явлений на площадке проектируемого *сооружения не выявлено*. Непосредственно на участке изысканий и прилегающей территории поверхностных проявлений карста нет.

В административном отношении площадка изысканий *расположена в городской застройке*. В геоморфологическом отношении расположена в пределах III надпойменной террасы левобережья реки. В геологическом строении площадки принимают участие аллювиально-делювиальные, нижне-сред- нечетвертичные отложения, перекрытые современными техногенными отложениями в соответствии с табл.5.1

Таблица 5.1 Геолого-литологическое строение ИГЭ площадки по сводному инженерно-геологическому разрезу до глубины 25–50 м

Геолог. возраст	№№ ИГЭ	Описание грунтов	Мощность ИГЭ	
			От (м)	До (м)
1	2	3	4	5
<i>tQ_{IV}</i>	НС	Насыпной грунт супесчано-суглинистый, участками – песчаный, коричневый, с включением строительного мусора до 5-60%, строительный мусор, слежавшийся, кладка из красного кирпича на известково-цементном растворе, на отдельных участках перекрыт щебнем и асфальтом	0.2	3.6
<i>adQ_{I-II}</i>	3а	Суглинок полутвердый, твердый, коричневый, прослоями темно-коричневый, с прожилками ожелезнения, опесчаненный, слабоизвестковистый, в отдельных интервалах с прослоями и линзами песка и супеси	0.3	9.5
- « -	3б	Суглинок тугопластичный, коричневый, темно-коричневый, ожелезненный, опесчаненный, в отдельных интервалах с прослоями супеси пластичной	0.5	4.5
- « -	4а	Супесь твердая, коричневая, светло-коричневая, слюдистая, с пятнами ожелезнения, с тонкими линзами и прослоями песка	0.5	7.0
- « -	5	Песок пылеватый, светло-коричневый, маловлажный, прослоями глинистый, в отдельных интервалах с линзами супеси твердой, плотный	0.3	4.6
- « -	6	Песок мелкий, маловлажный, прослоями	1.7	4.0

		глинистый, слабожелезненный, плотный		
- « -	7	Песок средней крупности, светло-коричневый, серовато-светло-коричневый, маловлажный и влажный, плотны	1.8	9.0
- « -	6а	Песок мелкий, водонасыщенный, светло-коричневый, слабожелезненный, плотный	1.5	3.0
- « -	7а	Песок средней крупности, светло-коричневый, желто-коричневый, водонасыщенный, с гнездами ожелезнения, плотный	5.6	6.9

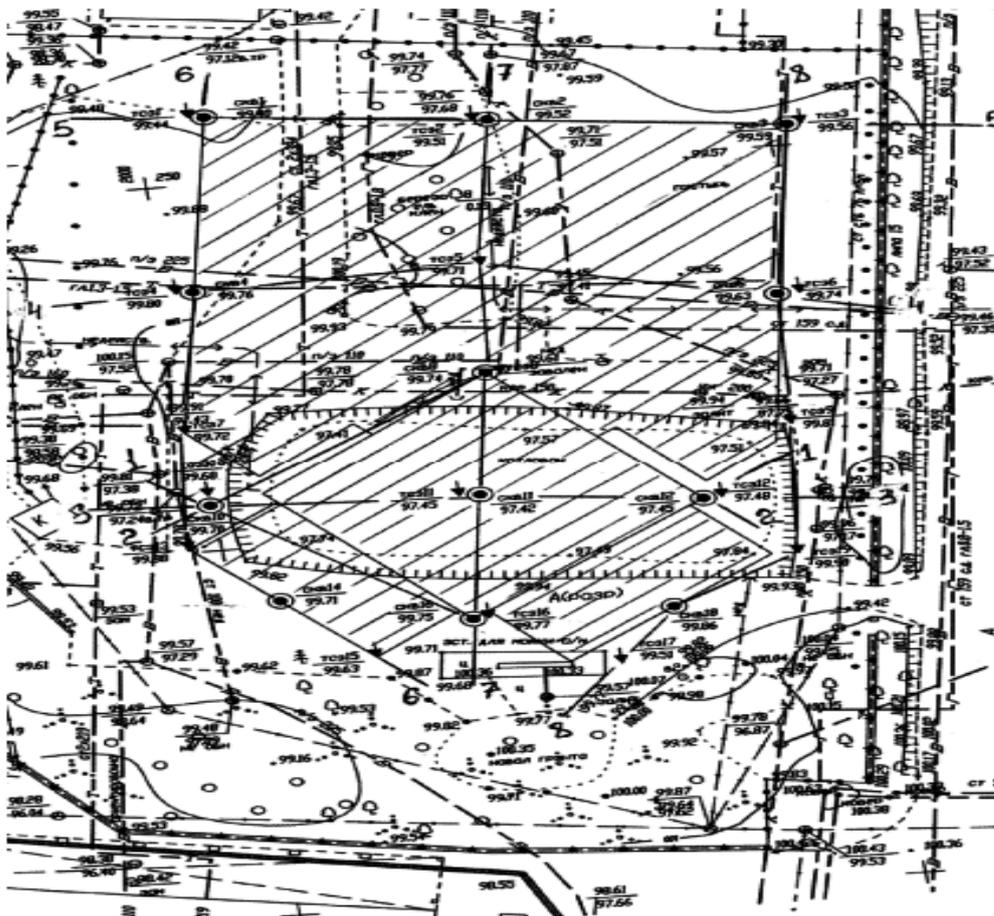


Рис.5.18. Схема плана строительной площадки с нанесенными инженерно-геологическими выработками и разрезами

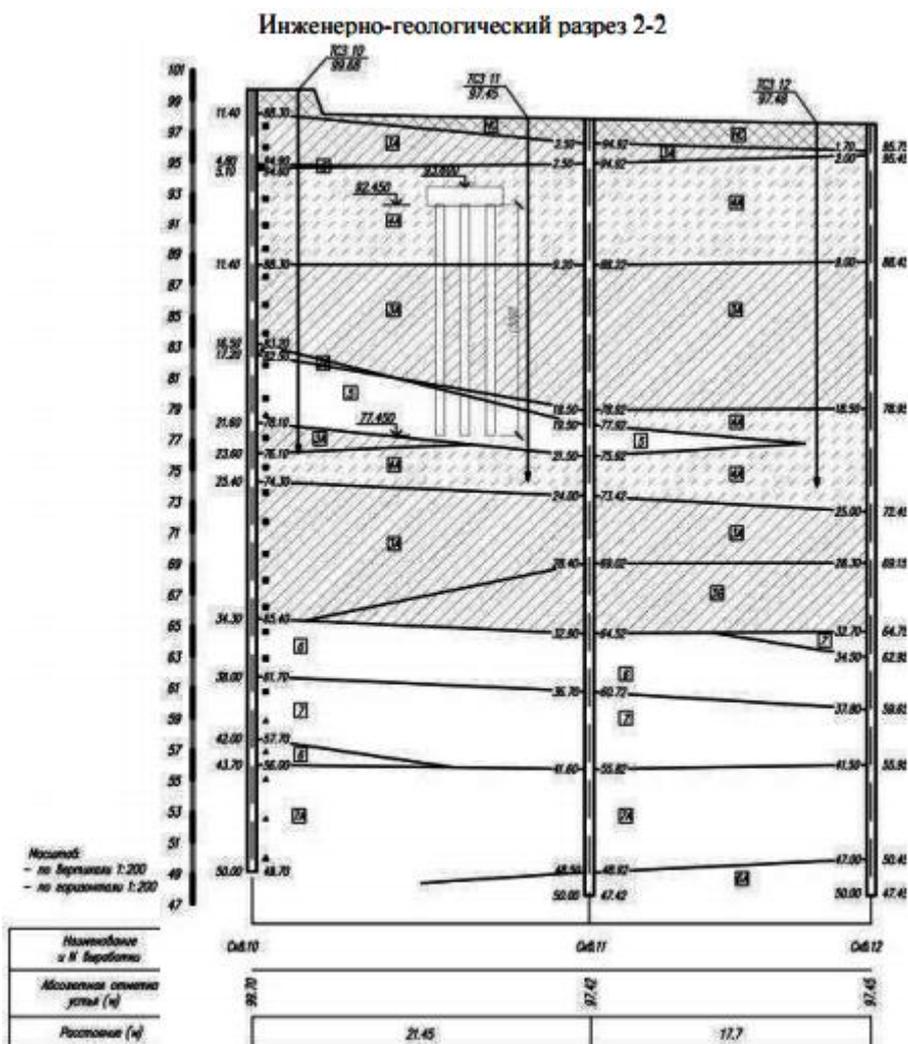


Рис.5.19. Инженерно-геологический разрез 2-2, совмещенный со схемой проектного расположения конструкций свайно-плитного фундамента (КСПФ) здания

5.2.4. Пример оформления программы мониторинга высотного здания

Целью создания, установки и эксплуатации **системы инструментального мониторинга основных несущих конструкций**, ответственных за надежность и безопасность здания, является:

- проведение системного, долговременного контроля постоянных и временных нагрузок;
- контроль возникающих при этом напряжений и усилий в опасных сечениях элементов несущих конструкций для установления соответствия фактического напряженно - деформированного состояния конструкций расчетным данным;
- упреждающее обнаружение критических и предаварийных ситуаций;
- контроль перемещений и деформаций конструкций фундаментов и остова высотной и двухэтажной с подвалом частей здания.

Задачи системы инструментального мониторинга:

- выбор и назначение основных конструктивных элементов - объектов контроля для наблюдения за ними;
- определение в выбранных конструктивных элементах опасных сечений и назначение опасных точек для инструментальных измерений;
- разработка методов определения контролируемых параметров;
- выбор серийных или разработка индивидуальных технических средств контроля, изготовление и установка их на объекте;
- проведение инструментальных измерений, фотографического фиксажа и визуальных наблюдений в режиме реального времени;
- поэтапная и итоговая обработка полученных данных;
- оценка технического состояния отдельных конструкций и здания в целом путем сопоставления (анализа) натурных наблюдений с результатами расчетов или критериальными характеристиками; предупреждение и оперативное устранение негативных процессов при научно-техническом сопровождении и геотехническом мониторинге на объекте.

Объем выполнения мониторинга здания

Подземная часть здания:

- сопоставительная проверка достоверности выполненных в пред- проектный период инженерно-геологических изысканий;
- контроль перемещений и отклонений конструкций ограждения глубокого котлована и оседания поверхности грунта пределами контура котлована в зоне влияния;
- контроль осадки, перемещений и отклонений комбинированного свайно-плитного (КСП) фундамента от вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов на всех этапах возведения и эксплуатации здания;
- контроль напряженного состояния грунта в основании комбинированного свайно-плитного (КСП) фундамента на всех этапах возведения и эксплуатации здания.

Надземная часть здания:

- контроль вертикальных и горизонтальных перемещений и отклонений основных несущих конструкций остова, включая: колонны; пилоны; диафрагмы и ядра жесткости; междуэтажные плиты перекрытий и покрытия;
- контроль напряженного состояния основных несущих конструкций остова,

включая: колонны; пилоны; диафрагмы и ядра жесткости; междуэтажные плиты перекрытий и покрытия;

– контроль распределения и интенсивности ветровой нагрузки.

Особые условия мониторинга здания

Расчетная высота 24-этажного здания $h_{зд.} = 81,65 + 0,65 = 82,30 \text{ м} > 75,00 \text{ м}$ от уровня планировочной отметки земли, соответствующей абсолютному значению 79,750м по БС.

При мониторинге необходимо уделить особое внимание:

- контролю напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций:
- ограждению глубокого котлована;
- комбинированному свайно-плитному фундаменту (КСПФ) и несущих конструкций остова.

Принимая во внимание *уникальность*, уровень ответственности и сложность объекта, *мониторинг необходимо проводить с момента начала и проведения работ в подземной части высотного здания и далее в течение всего периода возведения и не менее 2 (двух) лет после окончания строительства и ввода в эксплуатацию.*

Таблица 5.2 Предельные расчетные значения деформаций, нагрузок, усилий, напряжений в массиве грунта и конструктивных элементах здания

№ к.п.	Наименование контролируемых элементов	Един. из	Кол-во заполнить (при проектир.)		Обосн. норм. характ.
			По рас-чету	По СП	
1	Предельная величина абсолютной осадки «S» комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ)		7.7	12	СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений, приложение 4, п. 1
2	Неравномерность осадок комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ), «ΔS» : – продольное направление: – поперечное направление:	б./р.	- -	0,004 0,004	-«-
3	Предельная величина абсолютной осадки «S» комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ) во времени: – после возведения подземной части, включая КСПФ и два подземных этажа – после возведения двух надземных этажей высотной части и стилобатного пристроя – после возведения высотной части здания до второго технического этажа на отм. +52,80 м.. – после возведения высотной части здания до проектной отм. парапета +85,50 м – через календарный месяц после завершения строительства–	См.			-«-

	<ul style="list-style-type: none"> - через три календарных месяца после завершения строительства - через шесть календарных месяцев после завершения строительства - через двенадцать календарных месяцев после завершения строительства - через восемнадцать календарных месяцев после завершения строительства - через двадцать четыре три календарных месяцев после завершения строительства 				
4	Горизонтальные перемещения ограждения котлована, стен, контрфорсов от действия бокового давления грунта, вдоль наружных стен по осям:	см			-<<-
5	Усилия и напряжения в конструктивных КСП и элементах железобетонного каркаса подземной и надземной части здания, по перечню: <ul style="list-style-type: none"> - буронабивные сваи БНС... - плитный ростверк КСП... - пилоны и колонны подвала - стены подвала - пилоны и колонны надземной части здания - стены ядра жесткости в подвале и надземной части высотки - плиты междуэтажных перекрытий и покрытия 	кН кПа			-<<-
6	Крен фундамента	по x по y	0,00001 6 0,0017		-<<-
7	Горизонтальное перемещение верха здания от действия ветровой нагрузки, включая пульсирующую составляющую	см по x по y	0,4 5,4	16,8	84000/ 500

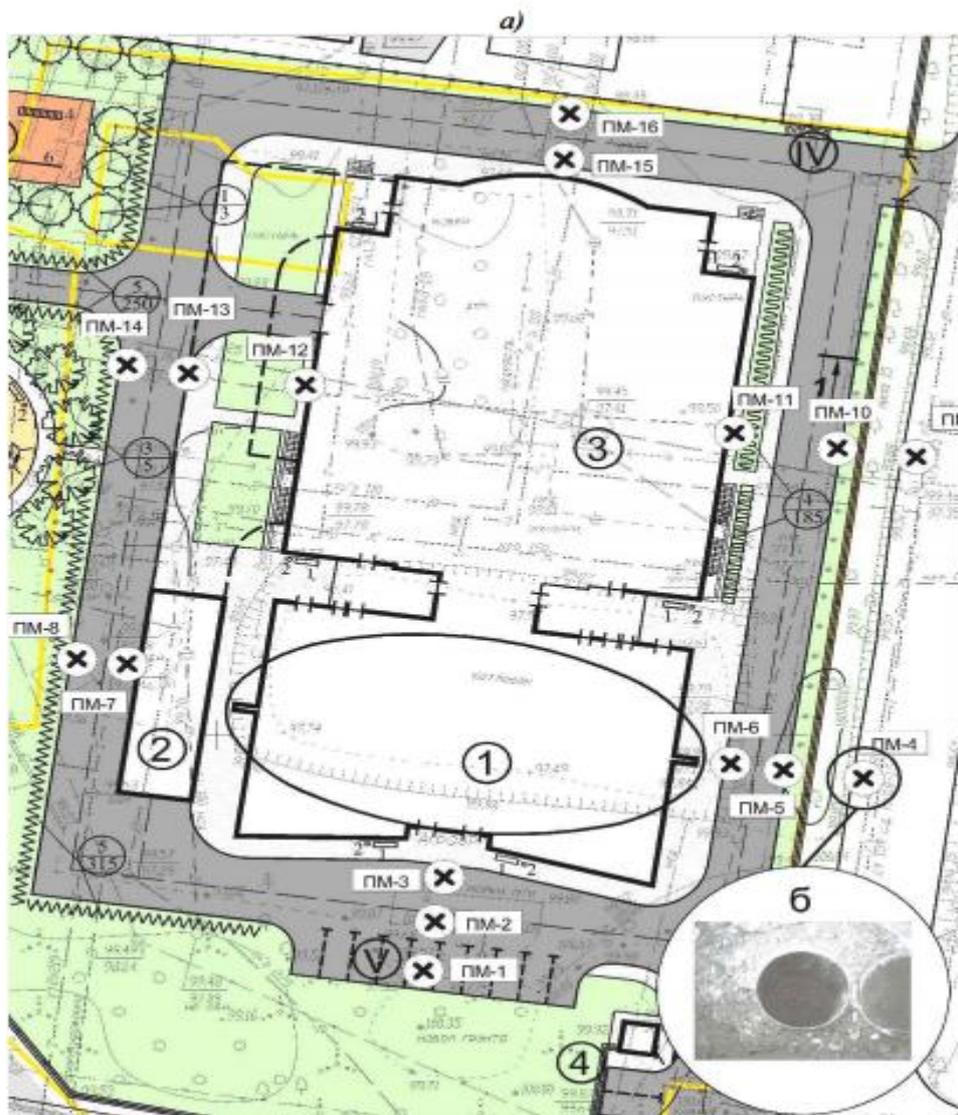


Рис.5.20. Схема генплана с местами расположения поверхностных марок ПМ: а – в зоне асфальтового покрытия; б – вид глубинной марки сверху

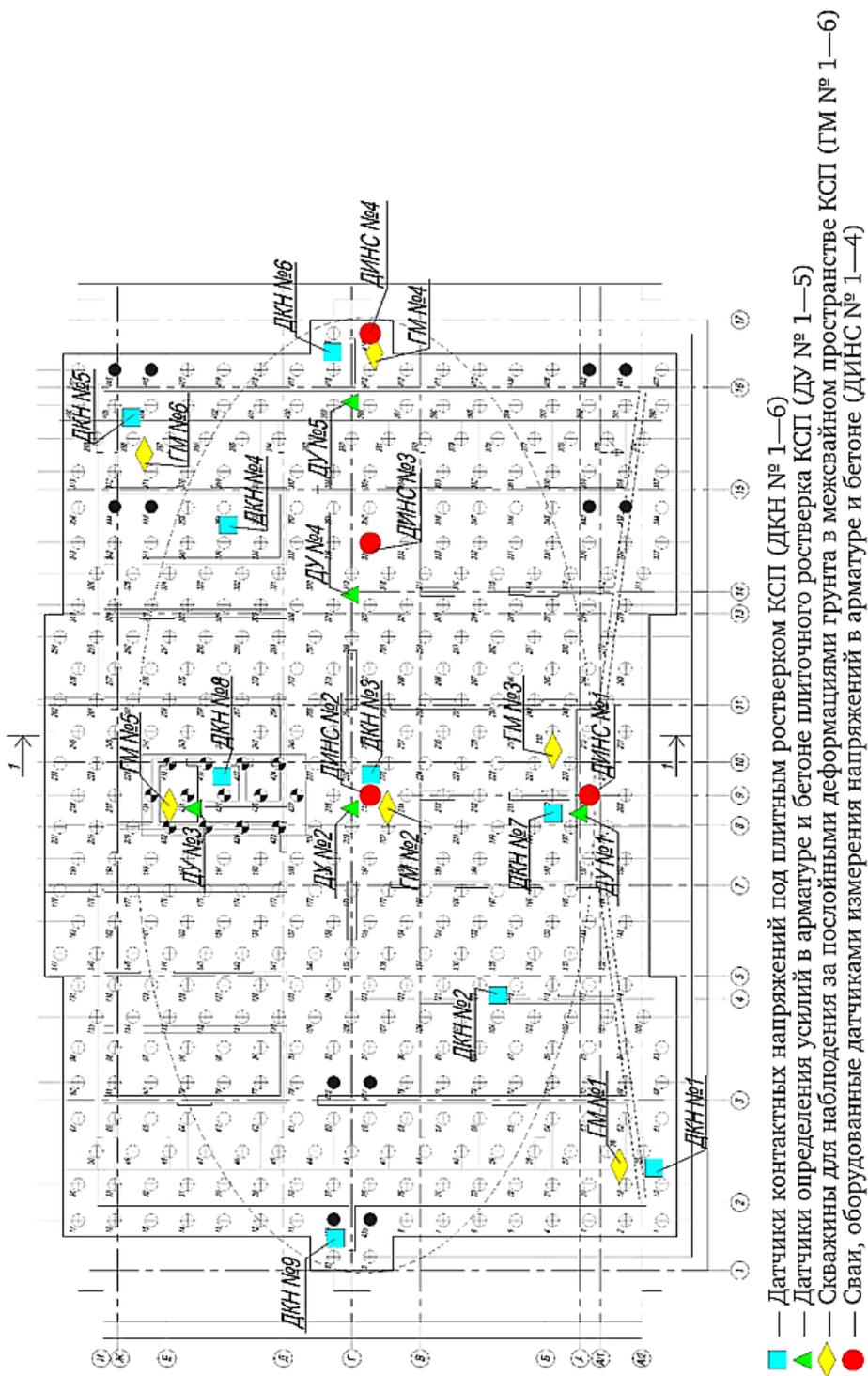


Рис.5.21. Схема плана свайного поля комбинированного свайно-плитного фундамента высотной части объекта с размещением датчиков при мониторинге возводимого здания

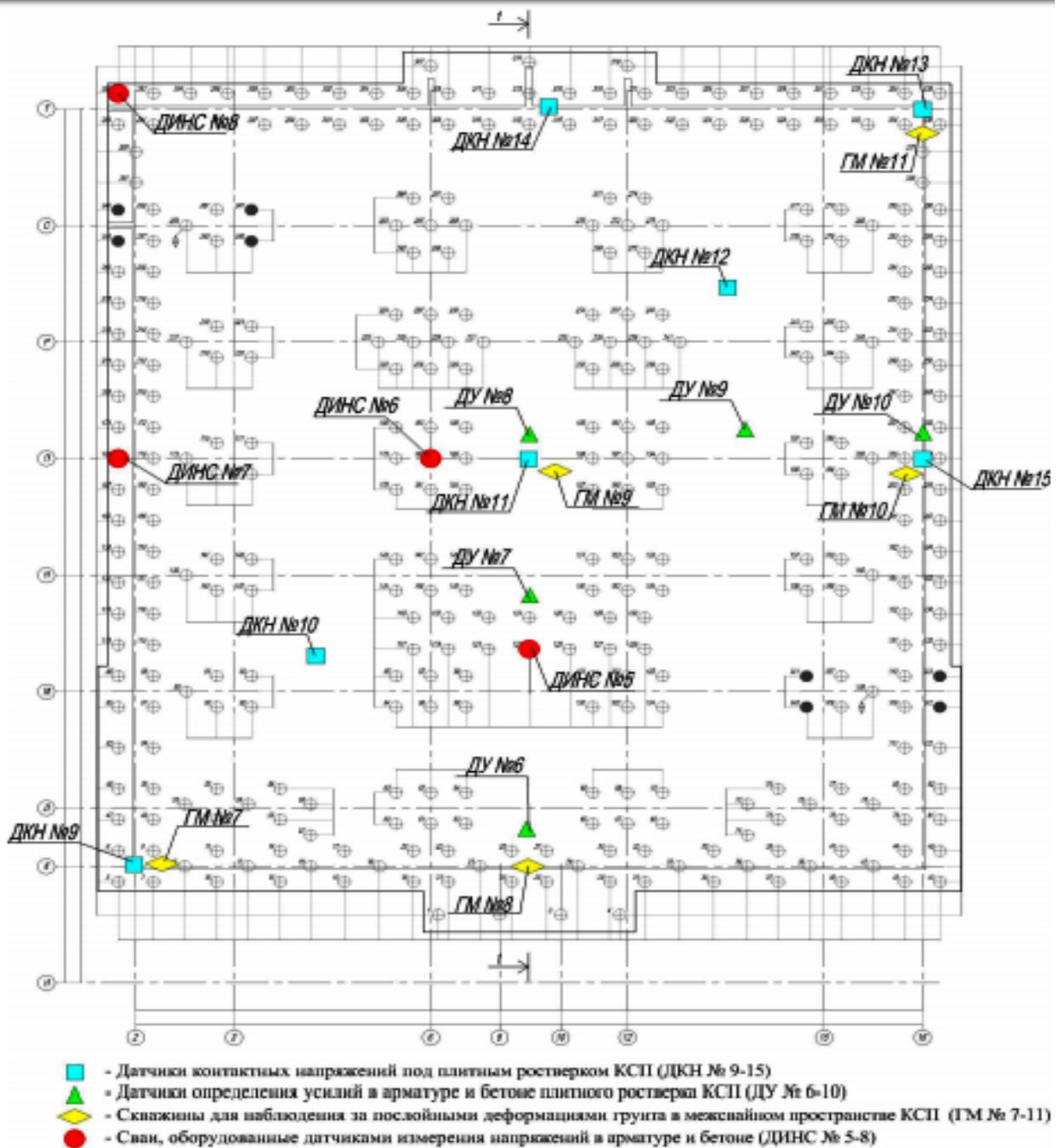


Рис.5.22. Схема плана стилобатной части свайного поля комбинированного свайно-плитного фундамента с размещением датчиков при мониторинге возводимого здания

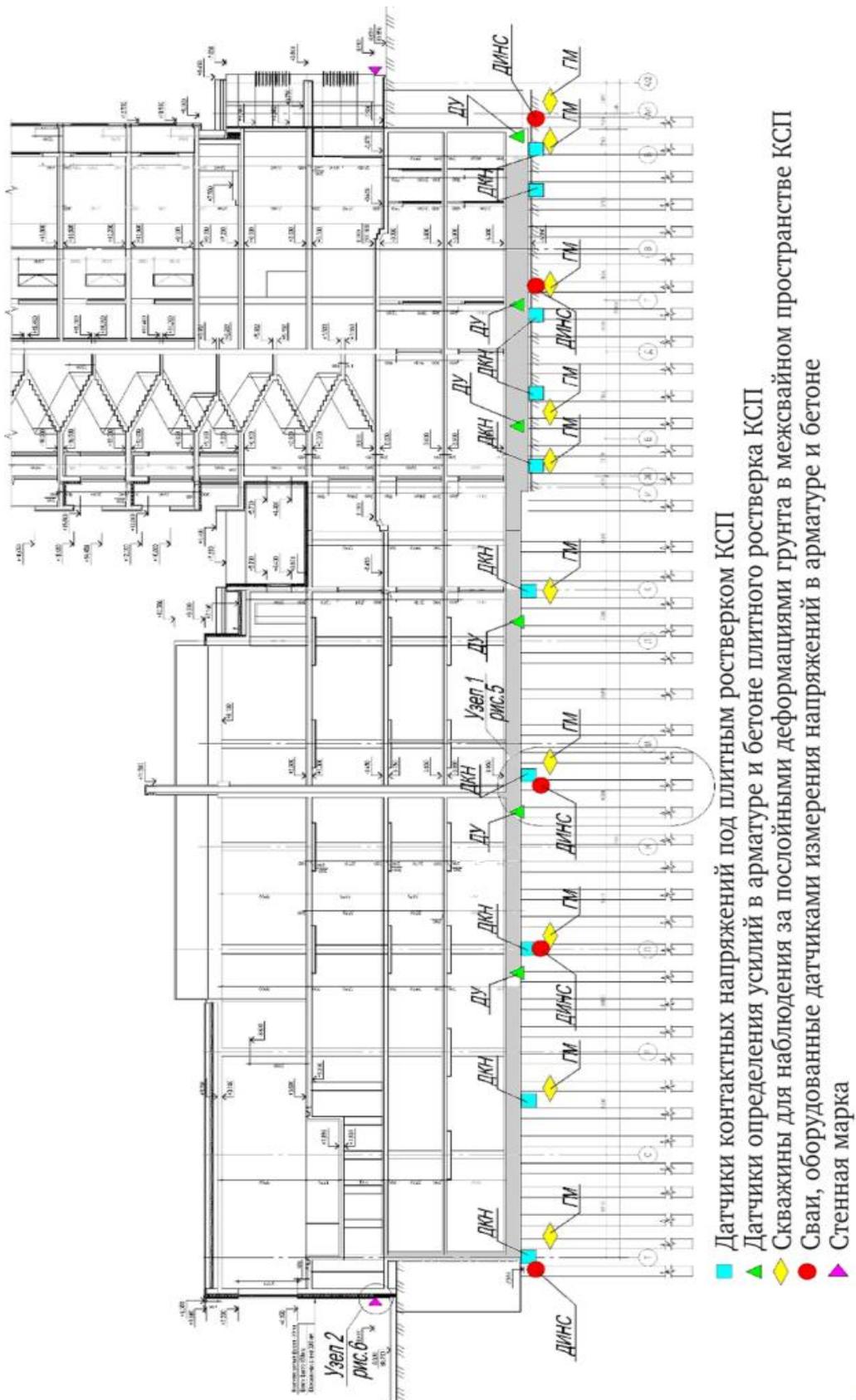


Рис.5.23. Схема фрагмента разреза 1-1 подземной части с местами расположения датчиков и марок для инструментального мониторинга высотного здания

Узел № 1 к разрезу 1-1 на рис.10.23

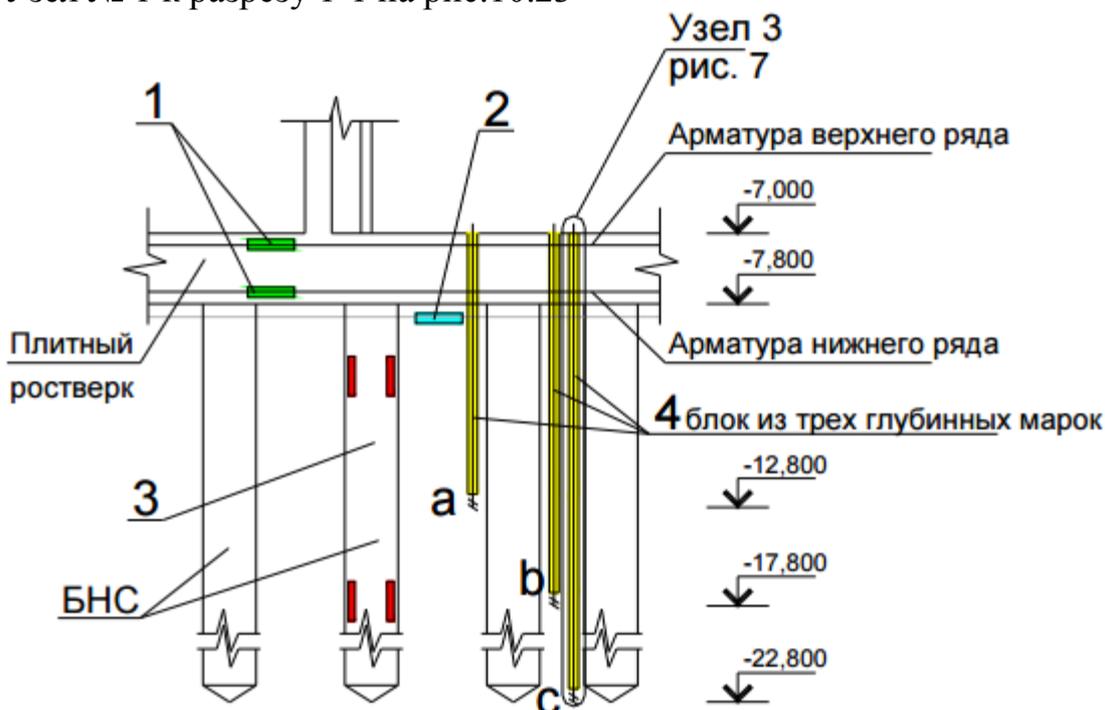


Рис.5.24. Схема установки датчиков и марок для инструментального мониторинга КСПФ: 1 – датчики определения усилий в арматуре обоих направлений и бетоне плитного ростверка КСПФ (рис. 10.21–10.23); 2– датчики контактных напряжений под плитным ростверком КСПФ (рис.10.21–10.23); 3 – свая, оборудованная датчиками измерения напряжений в арматуре и бетоне (рис.10.21–10.23); 4 – скважины для наблюдения за послойными деформациями грунта в межсвайном пространстве КСПФ

Узел № 2 к разрезу 1-1 на рис.10.23

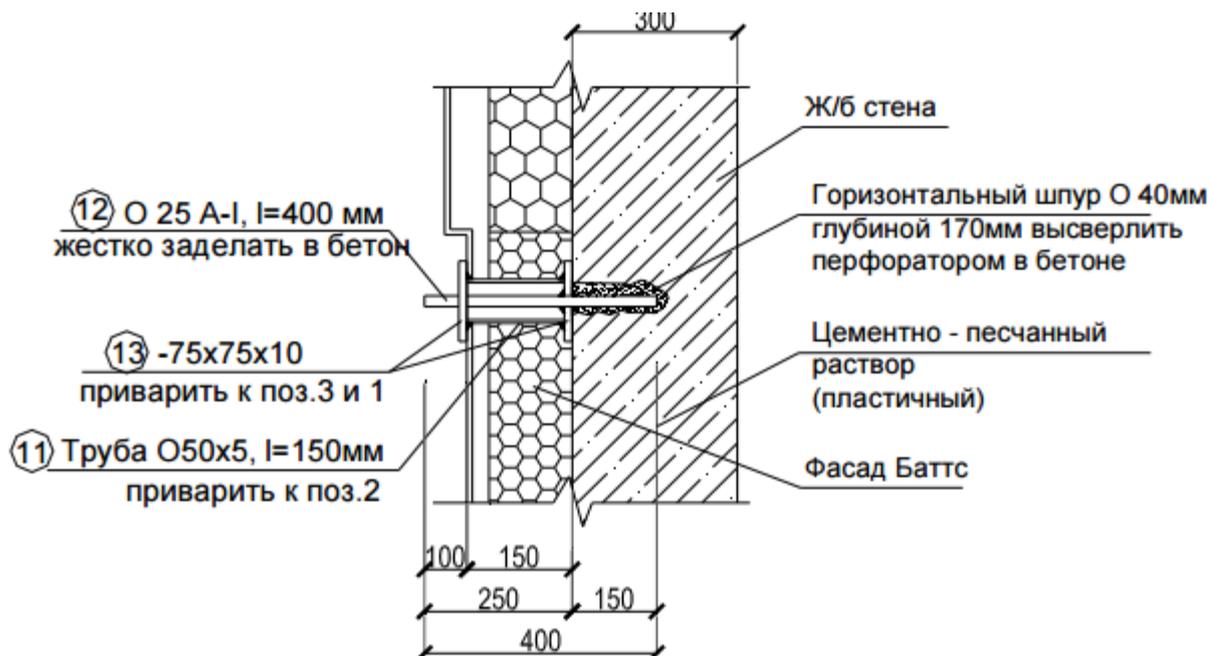


Рис.5.25. Схема установки стенной марки на стене здания

Узел № 3 к разрезу 1-1 на рис.10.23

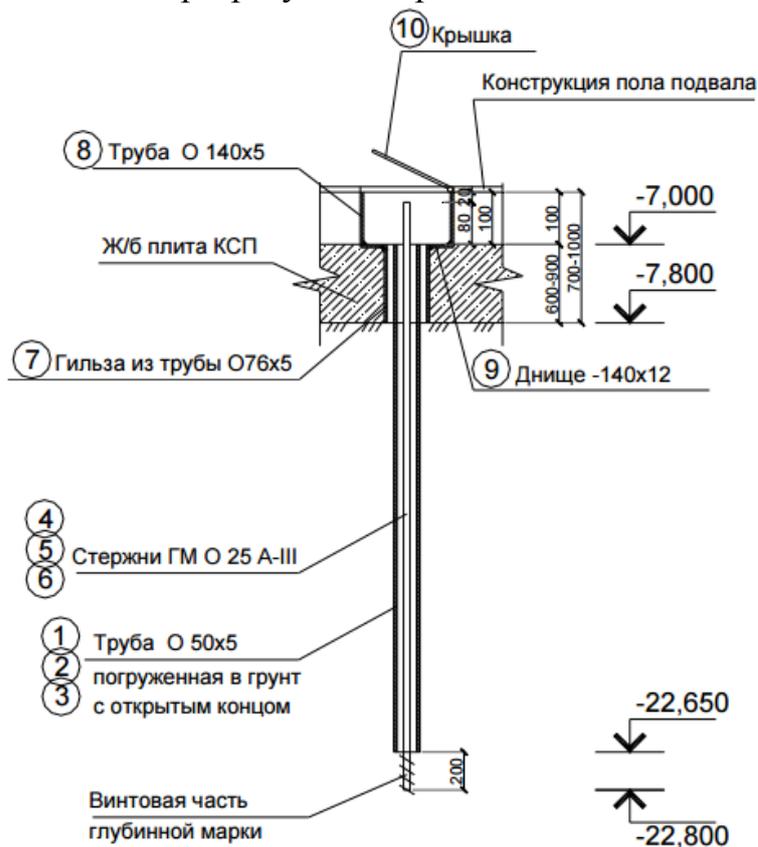


Рис.5.26. Схема устройства скважины для наблюдения за послойными деформациями грунта в межсвайном пространстве КСПФ

Узел № 4 к плану на рис.10.22 и разрезу 1-1 на рис.10.23

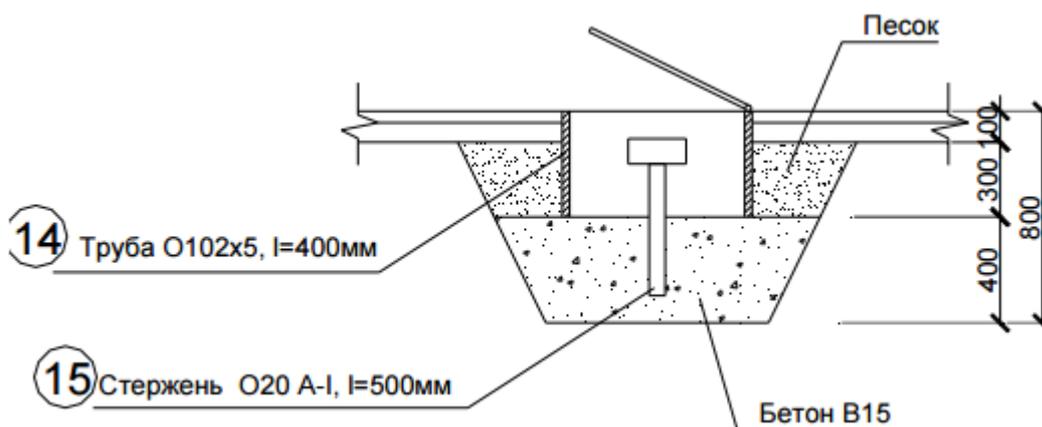


Рис.5.27. Схема устройства поверхностной марки

График мониторинга, порядок и последовательность установки технических средств контроля (ТСК)

Таблица 5.3

№ п	Измеряемый параметр при мониторинге	Наименование		Время начала или технологический период проведения инструментального наблюдения за техническими средствами контроля
		несущего конструктивного элемента каркаса	технического средства контроля и рекомендуемых измерительных приборов	
			Мониторинг деформаций грунтового массива по глубине при помощи глубинных марок, поверхности грунта, прилегающей к зданию зоны влияния и откосов котлована:	
1	Осадка вдоль вертикальной оси OZ, горизонтальные перемещения по осям OX и OY, а также крен вертикальной оси здания повышенной этажности	Массив грунта между сваями КСПФ и в основании подошвы свайного поля	<p>1. Постоянные геодезические пронумерованные на схемах глубинные марки ГМ № 1а, 1в, 1с...11а, 11в, 11с, соответственно, длиной а – 5,8 м, в – 10,8 м, с – 15,8 м) в каждом из группы установленных ГМ общей численностью 33 марки на все здание.</p> <p>ГМ устанавливаются в сквозные отверстия в плитном ростверке через стальные гильзы из труб диаметром 75 мм.</p> <p>ГМ выполняются из стальных арматурных стержней d=25мм, расчетных длин в каждой группе: а – 8м, в – 10,8м, с – 15,8м. Для исключения влияния посторонних факторов на ГМ в полу и плите предусматривается устройство: приемка с крышкой; гильзы; обсадной трубы. Стержень ГМ диаметром 25 мм вставлен (встроен) в стальную трубу диаметром 50 мм. Продольную</p>	<p>Глубинные геодезические марки «ГМ» устанавливаются с проектной отметки дна котлована перед началом устройства плитного ростверка КСП (базисный отчет).</p> <p>Измерения деформаций осадки производить по следующему графику:</p> <p>А) Базисный (первый) отчет. С проектной отметки дна котлована перед началом устройства плитного ростверка КСПФ.</p> <p>Б) После выполнения работ по устройству плитного остверка КСПФ.</p> <p>В) По каждому из этапов после возведения конструкций остова подвальных и надземных этажей от первого до последнего.</p> <p>Г) После возведения конструкций наружных ограждений стен и навесных систем на фасадах.</p> <p>Д) После завершения работ по устройству конструкций кровли.</p> <p>Е) После монтажа облицовки колонн, инженерного</p>

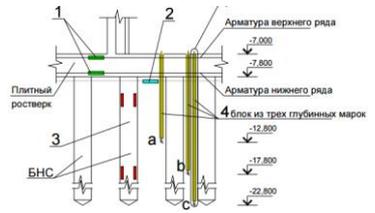
			<p>жесткость относительно гибкого стержня ГМ рекомендуется обеспечить за счет размещения вдоль длины, с расчетным шагом 1500 мм, пластиковых фиксаторов, используемых в строительстве для обеспечения защитного слоя бетона. Диаметр фиксатора принять на 2-3 мм меньшим внутреннего диаметра обсадной трубки ГМ.</p> <p>Результаты мониторинга, в соответствии с графиком наблюдений, регистрируются в специальном журнале.</p> <p>2. Для наблюдения за деформациями «ГМ» рекомендуется использовать: нивелир, теодолит, геодезическую рейку, индикаторы часового типа «ИЧ» с ценой деления 0,01 мм, прогибомеры, стальную рулетку.</p>	<p>оборудования, навешенного на осто́в.</p> <p>И) После завершения работ по устройству подсыпки и устройству пола.</p> <p>К) Перед оформлением акта приема-сдачи законченного строительством объекта в эксплуатацию.</p> <p>Л) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующие измерения до полной стабилизации осадки. Не менее двух лет после ввода объекта в эксплуатацию</p>
2	Осадка поверхности грунта в пределах зоны влияния по периметру здания вдоль оси OZ	Поверхность грунта в пределах зоны влияния по периметру здания с учетом природной отметки земли «NL» и планировочной отметки «DL»	<p>1. Постоянные геодезические пронумерованные поверхностные марки «ПМ», установленные на дневной поверхности земли. Марки выполнить из стальных стержней диаметром $d=20$мм своим нижним концом они жестко заделаны в свежееуложенный бетон в соответствии со схемой к настоящему документу.</p> <p>Схему расположения поверхностных маяков в плане и на разрезе смотреть на рисунках.</p> <p>Для исключения внешних факторов, влияющих на сохранность ПМ», рабочая часть торца стержня, на которую</p>	<p>Поверхностные геодезические марки «ПМ» устанавливаются на поверхности земли в подготовительный период строительства в полном соответствии со схемой размещения перед началом основного периода строительства, установленного проектом организации строительства (ПОС).</p> <p>Измерения вертикальных деформаций осадки прилегающей к зданию поверхности земли производить по следующему графику:</p> <p>А) Базисный (первый) отчет</p> <p>Перед началом работ по разработке грунта глубокого котлована.</p>

			<p>устанавливается геодезическая рейка при снятии отчетов, размещена в ограждающем патрубке из стальной трубы диаметром 100 мм с откидной крышкой с винтовым запором.</p> <p>2. Для наблюдения за деформациями «ПМ» рекомендуется использовать: нивелир, теодолит, геодезическую рейку, стальную рулетку. При необходимости: индикаторы часового типа «ИЧ» с ценой деления 0,01 мм, и прогибомеры.</p>	<p>Б) После завершения работ по разработке глубокого котлована.</p> <p>В) После завершения работ по устройству буронабивных железобетонных свай (БНС).</p> <p>Г) После выполнения работ по устройству плитного ростверка КСПФ.</p> <p>Д) По каждому из этапов после возведения конструкций остова подвальных и надземных этажей от первого до последнего.</p> <p>Е) После возведения конструкций наружных ограждений стен и навесных систем на фасадах.</p> <p>И) После завершения работ по устройству конструкций кровли.</p> <p>К) После монтажа облицовки колонн, инженерного оборудования, навешенного на остов.</p> <p>Л) После завершения работ по устройству подсыпки и устройству пола.</p> <p>М) Перед оформлением акта приема-сдачи законченного строительством объекта в эксплуатацию.</p> <p>Л) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующие измерения до полной стабилизации осадки. Не менее двух лет после ввода объекта в эксплуатацию.</p> <p>Б) После монтажа вертикальных связей и прогонов.</p> <p>В) После монтажа конструкций покрытия.</p> <p>Г) После возведения наружных стен и навесных стеновых панелей</p> <p>Д) После монтажа кровли на остов здания.</p> <p>Е) После монтажа облицовки колонн, инженерного</p>
--	--	--	--	--

				<p>оборудования.</p> <p>И) После завершения работ по устройству подсыпки и устройству пола.</p> <p>К) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующие измерения до полной стабилизации осадки</p>
3	<p>Сохранность и устойчивость грунтовых откосов глубокого котлована с естественным углом откоса</p>	<p>Грунтовые откосы глубокого котлована со спланированными откосами под естественный угол к горизонтали $\alpha = \varphi = 45^\circ$ для насыпных грунтов</p>	<p>1. Часть постоянных геодезических пронумерованных поверхностных марок «ПМ», установленных на дневной поверхности земли в подготовительный период строительства. Поверхностные марки, расположенные за пределами зоны бровки глубокого котлована в соответствии со схемой на рис.22 и 29, а также пункта 2 настоящего графика.</p> <p>2. Для наблюдения за деформациями «ПМ» рекомендуется использовать: нивелир, теодолит, геодезическую рейку, дальномеры, стальную рулетку, индикаторы часового типа «ИЧ» с ценой деления 0,01 мм, прогибомеры.</p>	<p>А) Базисный (первый) отчет. Перед началом работ по разработке грунта глубокого котлована.</p> <p>Б) В процессе всего периода и после завершения работ по разработке глубокого котлована.</p> <p>В) В процессе и после завершения работ по устройству БНС.</p> <p>Г) В процессе и после выполнения работ по устройству плитного ростверка КСПФ.</p> <p>Д) После выполнения работ по обратной засыпке грунта.</p> <p>Е) По каждому из этапов после возведения конструкций остова</p>
			<p>Мониторинг деформаций конструкций КСП и остова малоэтажной и многоэтажной частей здания, наблюдаемых по стенным маркам «СМ»:</p>	
4	<p>Осадка участков здания и возможная неравномерная осадка блоков здания вдоль верти-</p>	<p>Осадка КСП и надземных конструкций всех блоков здания, замеряемая на уровне цоколь-</p>	<p>1. Постоянные геодезические пронумерованные стенные марки «СМ», установленные жестко на боковой поверхности конструкций несущего остова (железобетонных стенах, колоннах, пилонах и т.д.) в соответствии со схемами на рисунках.</p>	<p>Стенные геодезические марки «СМ» устанавливаются с проектной отметки обратной засыпки грунта за наружные стенки двух-уровневого подвала. Измерения деформаций осадки и разности осадок по «СМ» производить регулярно по графику:</p> <p>А) Базисный (первый) отчет. С проектной отметки</p>

	кальной оси OZ	ной части, в зоне постоянного доступа для мониторинга	<p>Выступ торца стеной марки над лицевой частью облицовки «СМ» конструкции остова, с учетом конструкции отделочного слоя и удобства проведения инструментальных геодезических измерений, должен составлять не менее 100 мм. Между конструкцией облицовки и боковой поверхностью стеной марки, выполненной из стального стержня диаметром 25 мм, А-I, обеспечить конструктивно-технологический зазор при помощи устройства стальной гильзы из трубки диаметром 50 мм.</p> <p>1. На лицевой (фасадной) грани каждой из стенных марок, после их установки нанести порядковые их номера, в соответствии со схемой несмываемой масляной краской или набить номер на поверхности металла при помощи выгравировывания инструментом).</p> <p>2. Для наблюдения за деформациями «СМ» рекомендуется использовать: нивелир лазерный, теодолит, геодезическую рейку, стальную рулетку, а также при необходимости: индикаторы часового типа «ИЧ» с ценой деления 0,01 мм, прогибомеры.</p>	<p>обратной засыпки после выполнения работ по демонтажу инвентарной оснастки с наружной стороны подвальной части вдоль всего периметра малоэтажной и многоэтажной части здания перед началом работ по устройству монолитных конструкций надземной части здания.</p> <p>Б) По каждому из этапов после возведения остова надземных этажей.</p> <p>В) После возведения конструкций наружных ограждений стен и фасадов.</p> <p>Г) После завершения работ по кровле.</p> <p>Д) После монтажа облицовки колонн, инженерного оборудования, навешенного на остов.</p> <p>Е) После завершения работ по устройству подсыпки и устройству пола.</p> <p>И) Перед оформлением акта приема-сдачи.</p> <p>К) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующие измерения до полной стабилизации осадки. Не менее двух лет после сдачи объекта</p>
			Мониторинг изменения нагрузок, усилий и напряжений	
5	Контроль: постоянных и времен-	Буронабивные железобетонные	1. Тензодатчики и струнные датчики для определения деформаций и трансформации их в	Струнные датчики и тензодатчики напряжений с токопроводящей системой и защитными трубками

	ных нагрузок; усилий в конструкциях; напряжений в несущих и самонесущих элементах	сваи БНС. Напряжения в продольной рабочей арматуре каркасов. Напряжения в бетоне БНС	напряжения преобразователи (комплекс АИД – автоматический преобразователь деформаций напряжения) конструкции БНС. 2. Приборы оборудование: –тензодатчики напряжений с токопроводящей системой и защитными трубками; – прибор-преобразователь АИД; – источник автономного питания.	через – в в и устанавливаются и крепятся к поверхности арматуры на строительной площадке перед их монтажом в пробуренные скважины с проектной отметки дна котлована. Измерения деформаций и напряжений в арматуре и бетоне через приборы-преобразователи АИД производить регулярно по графику: А) После монтажа каркасов и укладки бетона в скважины БНС. Б) После выполнения работ по устройству плиты КСПФ. В) По каждому из этапов после возведения конструкций остова этажей. Г) После возведения конструкций наружных ограждений стен и навесных систем. Д) После завершения работ по устройству конструкций кровли. Е) После монтажа отделки, инженерного оборудования, навешенного на остова. И) После устройства подсыпки и полов. К) Перед оформлением акта приема-сдачи законченного строительством объекта в эксплуатацию. Л) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующие измерения до полной стабилизации осадки. Не менее двух лет после ввода объекта в эксплуатацию
6	Контроль: постоянных и временных нагрузок; усилий в конструкциях;	Напряжения в продольной рабочей арматуре нижнего и верхнего поясов	1. Тензодатчики и струнные датчики для определения деформаций и трансформации их в напряжения через преобразователи (компьютеризованный комплекс АИД –	Струнные датчики и тензодатчики напряжений с токопроводящей системой и защитными трубками устанавливаются и крепятся к поверхности арматуры на строительной площадке перед укладкой бетона в оснастку конструкции плиты

	<p>напряжений в несущих и самонесущих элементах</p>	<p>плитной части КСПФ</p>	<p>автоматический преобразователь деформаций в напряжения) конструкции плиты КСПФ</p>  <p>2. Приборы и оборудование: –тензодатчики напряжений с токопроводящей системой и защитными трубками; – прибор-преобразователь АИД; – источник автономного питания</p>	<p>КСПФ. Измерения деформаций и напряжений в арматуре и бетоне через приборы преобразователи АИД производить регулярно в нижеследующей последовательности по графику: А) После монтажа арматурных сеток, каркасов и укладки бетона в оснастку плиты КСПФ. Б) После выполнения работ по устройству плиты КСПФ. В) По каждому из этапов после возведения конструкций остова здания. Г) После возведения конструкций наружных стен систем на фасадах. Д) После завершения работ по кровле. Е) После монтажа отделки остова и инженерного оборудования. И) После устройства подсыпки и полов. К) Перед оформлением акта приема-сдачи объекта. Л) В период эксплуатации: после первого аншлага и последующих измерений до полной стабилизации осадки. Не менее двух лет после сдачи объекта в эксплуатацию</p>
7	<p>Контроль: постоянных и временных нагрузок; контактных напряжений под подошвой плиты КСПФ</p>	<p>Напряжения в грунте основания под подошвой плиты КСПФ</p>	<p>1. Приборы для измерения деформаций (месдозы) в грунте под подошвой плиты КСПФ в контактной зоне между подошвой плиты и грунтом основания, используемые для установления фактического давления под подошвой после переработки результатов деформаций в напряжения посредством комплекса АИД: «Месдозы» с подключенными</p>	

		<p>электрическими кабелями подключаются к прибору АИД.</p> <p>Схема и принцип установки приборов измерения деформаций в грунте под подошвой плиты КСПФ приведен ниже:</p>  <p>Общий вид приборов для измерения деформаций в грунте под подошвой плиты КСПФ в контактной зоне между подошвой плиты и грунтом основания:</p> 	
--	--	---	--

Таблица. 5.4. Перечень приборов и оборудования, используемых при проведении мониторинга

	Наименование приборов и оборудования	Вид прибора	Количество
1	АИД (электронный прибор автоматического измерения деформаций)	Имеются несколько типов под различное количество подключаемых тензорезисторов	2

2	Нивелир электронный SDL1X		1
3	Нивелир электронный SDL1X		1
4	Теодолит электронный DT 520		1
5	Теодолит оптический 3Т2КП		1
6	Индикатор часового типа ИЧ-25 Индикатор часового типа ИЧ-50		10 20

7	Прогибомер		10
8	Лазерный дальномер Tru Pulse 200В		1
9	Тахеометр SET2X		1
10	Стальная рулетка длиной 3, 5, 10, 15м		4 шт
11	Электрокабели		1000 м

6. Пример разработки системы мониторинга технического состояния несущих конструкций высотного здания

6.1. Исходные данные

Здание высотой 97,5 м, возводимое в городской застройке, относится к высотным зданиям, имеет четыре подземных этажа для автостоянки, технический этаж и 24 жилых этажа. Первый и второй этажи являются нежилыми, на них располагается торговая зона. С 3 по 6 этаж – гостиница, с 7 по 26 этаж – апартаменты. Здание включает в себя шестиэтажную стилобатную часть, высотную часть с 7 по 27 этажи и пять подземных этажей. На минус первом подземном этаже, кроме въезда в подземную автостоянку, размещаются технические помещения. Здание разделено на

пожарные отсеки по функциональным зонам, а также по вертикали – 14 этажом.

Конструктивно здание выполнено в виде железобетонного монолитного каркаса. Ограждением котлована является железобетонная конструкция, выполненная методом «стена в грунте» толщиной 600мм. Фундамент здания – монолитная железобетонная плита высотой 2000мм из бетона класса В25W8. Стены жесткости – монолитные железобетонные толщиной 250 и 400 мм из бетона класса В25. Каркас – монолитные железобетонные колонны из бетона класса В25. Перекрытия – безбалочные железобетонные монолитные из бетона класса В25 толщиной 250, 300 и 400 мм. Лестницы – монолитные железобетонные. Шахты лифтов – монолитные железобетонные. Стены надземной части – кирпичные толщиной 250 мм, утеплитель «Rockwool» «Фасад-баттс» толщиной 150 мм, мембрана, воздушный зазор – 60мм, керамогранит – 20 мм. Ограждающие конструкции – дерево-алюминиевые блоки тройного остекления. Кровля – плоская, утепленная с продухом над жилыми помещениями, эксплуатируемая с внутренним водостоком.

Общий вид, разрезы и планы конструкций здания приведены на рис.6.1-5.

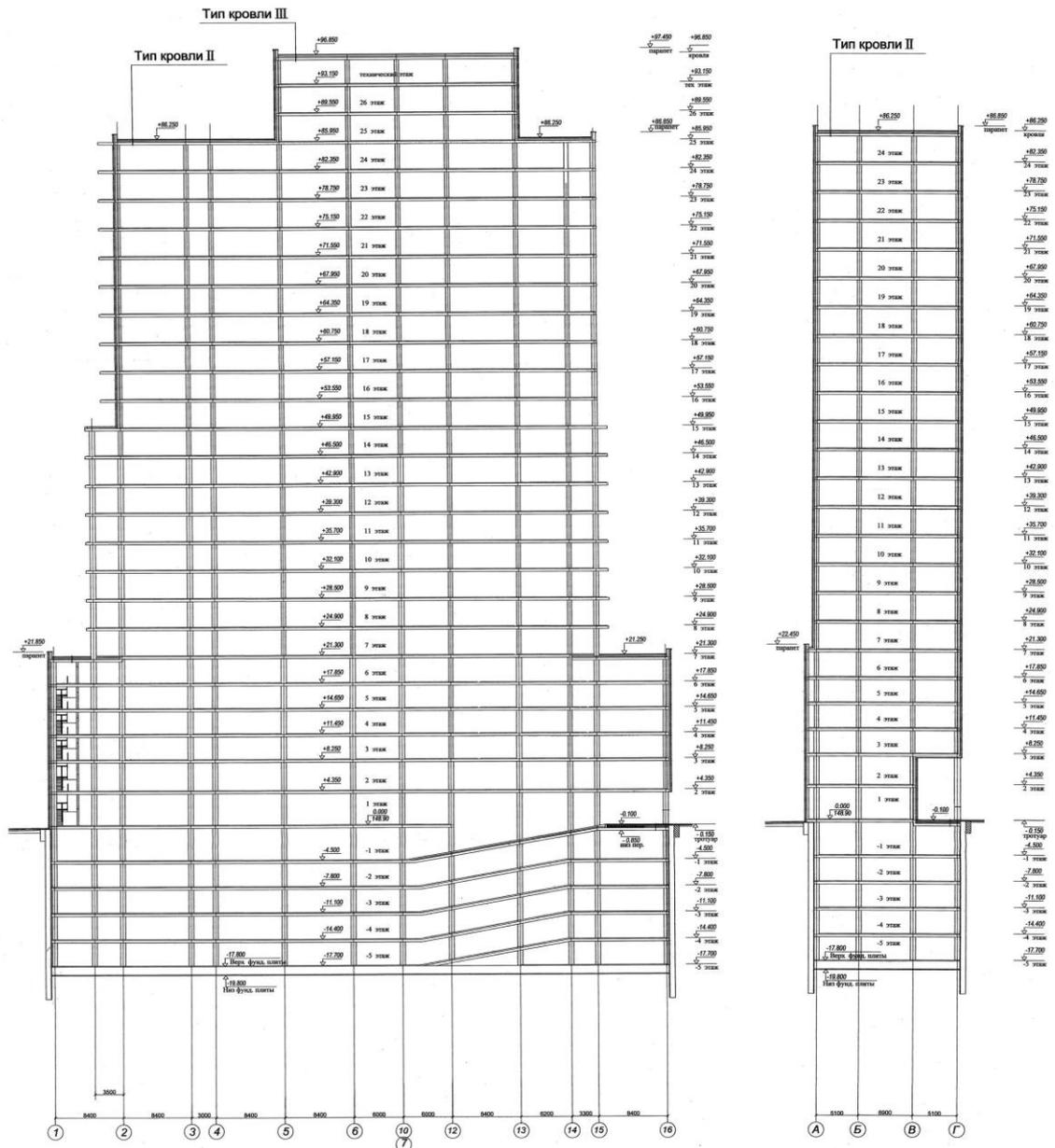


Рис. 6.1. Разрезы здания

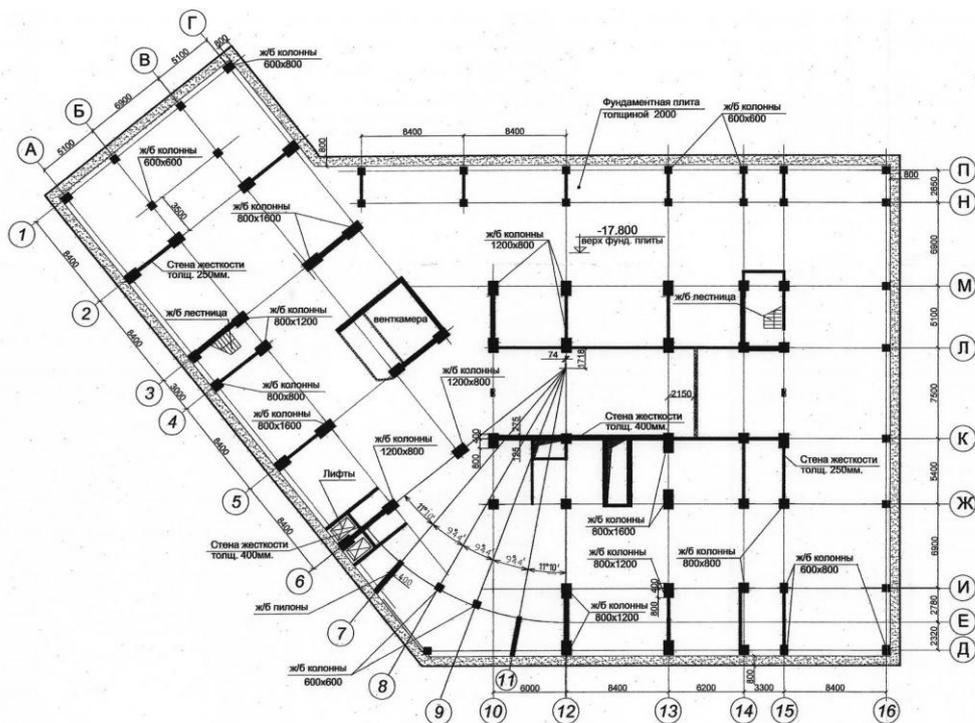


Рис.6.2. План конструкций минус пятого этажа на отм. -17.800 (верх фундаментной плиты) высотного здания

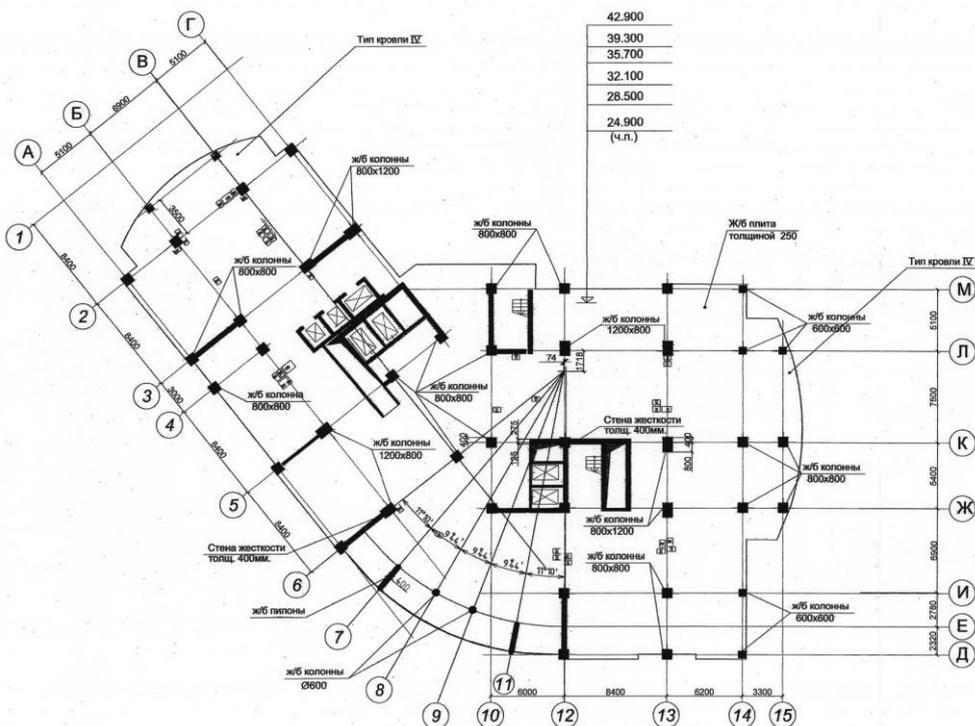


Рис.6.3. План конструкций с 8 по 13 этажи на отм. 24.900÷42.900 (ч.п.) высотного здания

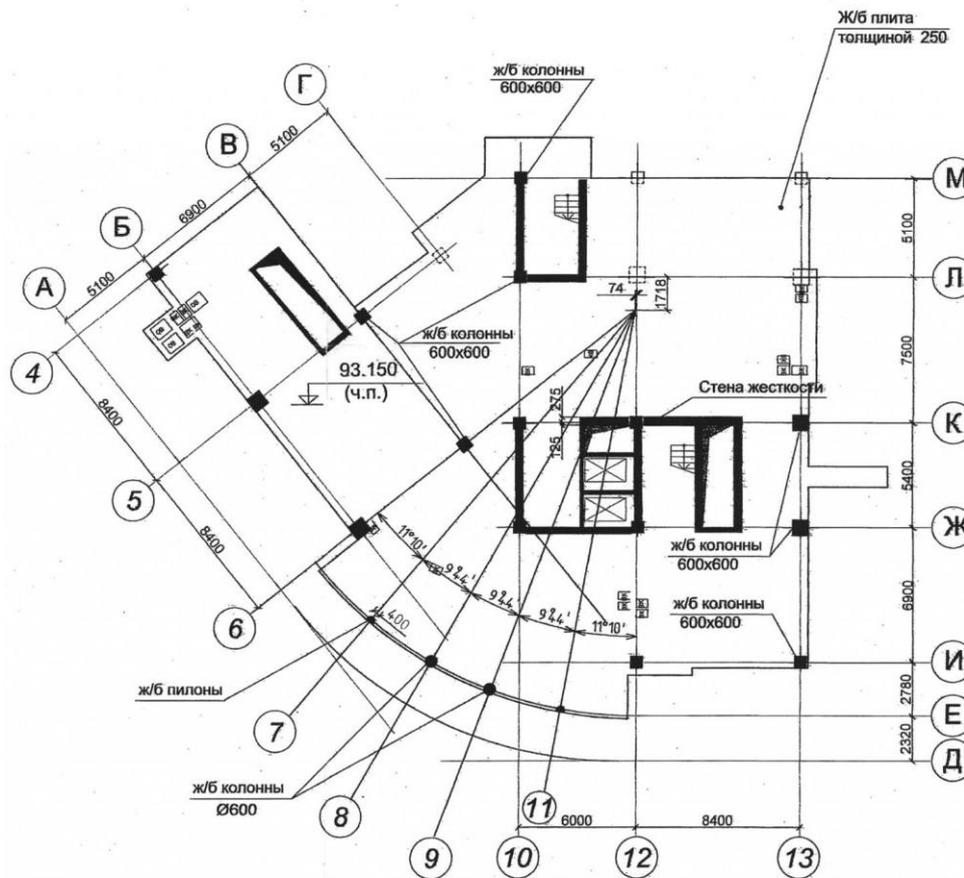


Рис. 6.4. План конструкций 27 этажа на отм. 93.150 (ч.п.) высотного здания

Для достижения поставленных целей система мониторинга состояния инженерно-технических конструкций здания гостиничного комплекса (СМИК ГК) разделяется на две функциональные подсистемы мониторинга:

- автоматическая сигнальная подсистема мониторинга;
- автоматизированная подсистема внепланового, периодического мониторинга.

6.2. Автоматическая система мониторинга

Автоматическая сигнальная подсистема мониторинга осуществляет:

— автоматический в режиме реального времени мониторинг интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций здания;

— автоматическое в режиме реального времени информирование персонала дежурно-диспетчерской службы (ДДС) здания комплекса и

Единой системы оперативно-диспетчерского управления в чрезвычайных ситуациях (ЕСОДУ) города о критическом изменении деформационного состояния несущих конструкций здания.

Автоматизированная подсистема внепланового, периодического мониторинга запускается по сообщениям (сигналам) от сигнальной подсистемы мониторинга или в соответствии с регламентом и осуществляет в автоматизированном режиме:

- сбор и обработку требуемых для оценки состояния конструкций здания данных от сигнальной подсистемы СМИК ГК;

- от геотехнического мониторинга, включая дополнительные инструментальные средства наблюдений за деформациями и перемещением конструкций здания и грунта;

- путем ввода данных визуальных наблюдений;

- обеспечение разработки и выдачи заключений о деформационном состоянии инженерно-технических конструкций (конструктивных элементов, несущих конструкций) здания и рекомендаций по обеспечению безопасности здания в соответствии с утвержденными в установленном порядке методиками.

На сигнальную подсистему мониторинга возлагается решение в автоматическом режиме реального времени следующих задач:

- получение данных о динамических характеристиках и кренах от датчиков (акселерометров и наклономеров), установленных в критически важных точках конструкций здания;

- обработка и анализ полученных данных с целью определения текущих интегральных характеристик состояния конструкций здания. Сравнения их с соответствующими количественными критериями оценки состояния конструкций (динамическим паспортом) здания для установления допустимости и надежности нормальной эксплуатации здания;

- информирование персонала ДДС здания и ЕСОДУ города осуществляется через структурированную систему мониторинга и управления инженерными системами здания – СМИС ГК. Передаются данные о критически важном ухудшении текущих интегральных

характеристик состояния конструкций объекта в сравнении с представленными в динамическом паспорте объекта.

На подсистему внепланового, периодического мониторинга возлагается в автоматизированном режиме решение следующих задач:

- сбор требуемых для оценки состояния конструкций здания данных от акселерометров, наклономеров и геотехнического мониторинга, включая дополнительные инструментальные средства наблюдений за деформациями и перемещением конструкций здания и грунта, а также ввод данных визуальных наблюдений;

- обработка полученных данных и обеспечение выдачи заключений о состоянии инженерно-технических конструкций (конструктивных элементов, несущих конструкций) здания и рекомендаций по обеспечению его безопасности, разработанных в соответствии с утвержденными установленным порядком методиками. (Указанные методики разрабатываются в ходе научно-исследовательских работ, проводимых на стадиях проектирования, ввода в действие и эксплуатации здания.)

В результате решения задач автоматической сигнальной подсистемы предусматривается подача дежурным службам сообщений по принципу семафора: «желтый», «красный», что позволяет им оперативно действовать в соответствии с разработанным регламентом по эвакуации, вызову специализированных организаций для проведения внепланового, периодического мониторинга.

Задачи автоматизированной подсистемы внепланового, периодического мониторинга решаются путем сбора, обработки и анализа данных о напряженно-деформированном состоянии несущих конструкций и последующего категорирования состояния инженерно-технических конструкций здания на основе полученной информации в соответствии со следующей градацией:

- первая категория – проектное (нормальное) состояние;
- вторая категория – ограниченно работоспособное (удовлетворительное) состояние;
- третья категория – аварийное (неудовлетворительное) состояние.

Количественные критерии оценки технического состояния (категорий) определяются при разработке конструктивного раздела проекта здания и уточняются в процессе строительства и сдачи здания в эксплуатацию путем обследования динамического состояния строительных конструкций здания и/или на основании результатов других исследований, проводимых в рамках НИОКР по согласованию с Заказчиком.

Динамические характеристики здания, определяемые экспериментально при мониторинге изменения состояния инженерно-технических конструкций здания гостиничного комплекса, включают:

- фактические амплитуды ускорения вынужденных колебаний;
- основные частоты собственных колебаний;
- собственные формы колебаний;
- логарифмические декременты колебаний.

При вводе здания в эксплуатацию производят обследование динамического состояния его строительных конструкций для получения количественных критериев оценки состояния конструкций (динамического паспорта здания), устанавливающих допустимость и надежность нормальной эксплуатации здания.

Динамический паспорт здания служит эталоном, необходимым для обеспечения работы сигнальной подсистемы и подсистемы внепланового, периодического мониторинга. В результате обследования динамического состояния строительных конструкций уточняются матрицы параметров СМИК ГК для настройки сигнальной подсистемы на корректное определение опасных изменений значений динамических характеристик здания и для настройки подсистемы внепланового, периодического мониторинга на корректное определение категорий состояния.

Оценка напряжённо-деформированного состояния здания производится экспериментально-расчётным методом. Метод базируется на фундаментальных свойствах конструкции, заключающихся в связи ее жесткости и массы с параметрами собственных и вынужденных колебаний. Расчёты выполняются на конечно-элементной компьютерной модели, откалиброванной по экспериментально определяемым матрице передаточных функций, спектру собственных частот и формам колебаний.

При возникновении повреждений отдельных элементов конструкции в них происходит перераспределение внутренних усилий вследствие снижения жёсткости, в результате чего меняется матрица передаточных функций и формы колебаний здания, снижаются собственные частоты и увеличиваются амплитуды колебаний. Анализ этих явлений проводится путем установления взаимосвязи между вынуждающей силой и возникающими колебаниями.

Определение и исследование динамических характеристик здания осуществляются в три этапа:

- создание динамической компьютерной модели здания с учётом исходных проектных данных;

- экспериментальное определение динамических характеристик здания в естественных условиях (натурные динамические исследования). При этом осуществляется измерение колебаний конструкций, обусловленных непосредственным действием на здание пульсационной составляющей ветровой нагрузки, выполняется спектральный анализ колебаний, вычисляются передаточные функции между информационно-значимыми точками конструкции;

- калибровка компьютерной модели по результатам натурных динамических исследований на базе совпадения расчётных и экспериментальных передаточных функций.

Откалиброванная динамическая компьютерная модель должна отражать фактическое состояние здания. Эта модель может использоваться для проведения расчётов в соответствии с действующей нормативной базой: на несущую способность; сейсмостойкость; ветровую; снеговую нагрузку; сочетания нагрузок; прогрессирующее обрушение.

В качестве расчетного метода анализа реакций здания на динамическое воздействие применяется математическое моделирование сооружения на основе метода конечных элементов (МКЭ). Для этих целей применяется какой-либо программный комплекс, например «SCAD» [2], основанный на методе МКЭ и способный производить исследование статических и динамических реакций МКЭ-модели на различные сочетания внешних воздействий.

Технология проведения мониторинга, реализуемая СММК ГК, определяется принятой методикой контроля изменения состояния инженерно-технических конструкций здания и техническим обеспечением системы мониторинга. **Важными составляющими технического обеспечения СММК ГК являются применяемые средства измерения, принятая схема размещения измерительных пунктов в здании, средства**

автоматизации, специальное программное обеспечение, а также способы обработки, анализа полученных данных и информирования о результатах мониторинга.

Измерительные пункты СМИК ГК содержат следующие измерительные преобразователи: акселерометры (датчики ускорения) двух типов и датчики наклона (инклинометры).

В качестве измерительных преобразователей колебаний конструкций здания под действием динамических ветровых нагрузок (мониторинг интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния инженерно-технических конструкций здания) применяют акселерометры, удовлетворяющие ряду требований:

- число каналов (измеряемых компонент) 3 (X, Y, Z);
- коэффициент преобразования, $B \cdot m^{-1} \cdot c^2$, не менее 0,3;
- диапазон рабочих частот, Гц, не уже от 0,1 до 100;
- неравномерность АЧХ в диапазоне рабочих частот, дБ, не более 3;
- коэффициент нелинейных искажений при выходном напряжении 1В, %, не более 0,05.

Для определения критического изменения деформационного состояния инженерно-технических конструкций здания (мониторинг предаварийного и аварийного состояний здания, могущих привести к обрушению конструкций и гибели людей), применяют акселерометры, которые имеют следующие основные технические характеристики:

- число каналов (измеряемых компонент) 3 (X, Y, Z);
- коэффициент преобразования, $B \cdot m^{-1} \cdot c^2$, не менее 0,06;
- верхняя граница диапазона рабочих частот, Гц, не менее 100;
- рабочий диапазон, $m^{-1} \cdot c^2$, не уже ± 10 .

Применяемые датчики наклона должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- число каналов (измеряемых компонент) 2 (X, Y);
- коэффициент преобразования, мВ/углов. с, не менее 9;
- рабочий диапазон измеряемых углов наклона, углов. с, не уже ± 300 .

Схема размещения измерительных пунктов в здании представлена на рис. 6.5 и 6.6. Измерительные пункты с акселерометрами устанавливаются на несущих конструкциях здания. Эти измерительные пункты оборудуют на каждом этаже вдоль двух вертикальных осей здания, разнесенных относительно центра плана здания. Таким образом, контроль напряженно-деформированного состояния здания осуществляют в двух точках каждого из 32 уровней.



Рис. 6.5,а. Схема размещения измерительных пунктов на планах конструкций минус 5-го (на отм. -17.800 (верх фундаментной плиты)) этажа высотного здания

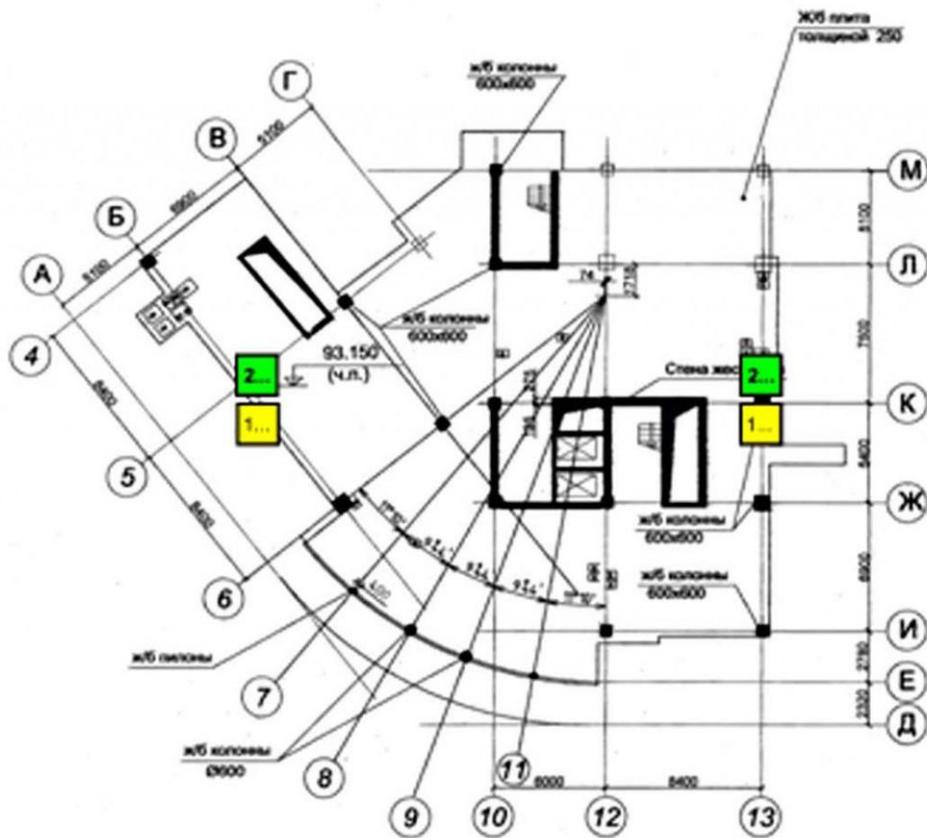


Рис. 6.5,б. Схема размещения измерительных пунктов на планах конструкций 27-го (на отм. 93.150 (ч.п.)) этажа высотного здания

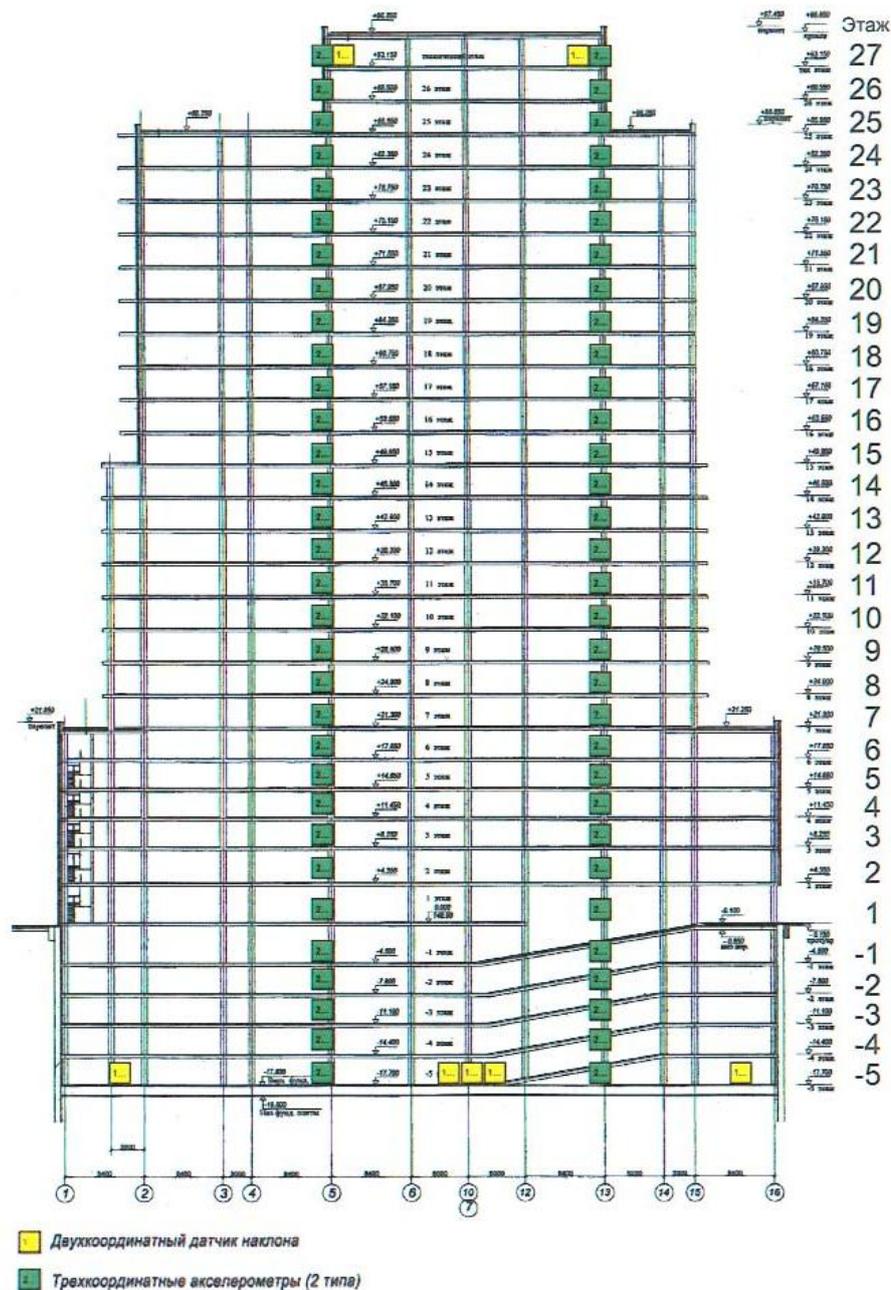


Рис.6.6. Схема размещения измерительных пунктов на разрезе конструкций высотного здания

Количество измерительных пунктов и места их расположения обеспечивают определение собственных форм горизонтальных колебаний здания в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а также форм крутильных колебаний этажей здания в горизонтальной плоскости на низших собственных частотах.

Измерительные пункты с датчиками наклона располагают на самом нижнем (-5) подземном этаже здания и на верхнем этаже здания. Датчики наклона подземного этажа устанавливают в нишах в пяти точках фундаментной плиты симметрично по отношению к вертикальной оси здания

на максимальном удалении от нее, но не ближе 2 м от стен. Один измерительный пункт оборудуют в центре плана здания на пересечении его горизонтальных осей.

Направление измерительных осей датчиков ускорений и наклонов определяется главными осями конструкции здания.

Измерительные пункты СМИК ГК размещают в металлических закрывающихся на замок контейнерах, жестко соединенных с несущими конструкциями здания. При этом обеспечивают удобный доступ к датчикам и электронным узлам измерительных пунктов. Все измерительные пункты соединяют кабельной слаботочной линией связи с помещением ДДС здания, а каждый измерительный пункт снабжается индивидуальным сетевым адресом.

Мониторинг изменения состояния несущих конструкций здания осуществляет служба эксплуатации многофункциональных высотных зданий и комплексов с привлечением специализированной научно-исследовательской организации. Все величины, контролируемые при автоматическом непрерывном мониторинге, должны измеряться в режиме реального времени. Они являются основой для расчета и анализа динамических характеристик здания в зависимости от изменения состояния его инженерно-технических конструкций.

По результатам анализа динамических характеристик здания определяется категория состояния сооружения. Если динамические характеристики начинают выходить за установленные пределы, назначается внеплановый мониторинг с обязательным выявлением причины возникших отклонений и (при необходимости) корректировкой настроек системы.

При внеплановом и периодическом мониторинге проводится обследование здания в соответствии с порядком, установленным действующими нормативными документами. Периодический мониторинг проводится ежеквартально.

Результатом каждого мониторинга является заключение о состоянии инженерно-технических конструкций здания по следующим категориям:

— проектное, когда контролируемые в процессе мониторинга динамические характеристики не превосходят значений, полученных расчетным путем при нормативных воздействиях;

— ограниченно работоспособное, когда контролируемые динамические характеристики находятся в промежутке между значениями, полученными при нормативных воздействиях и при расчётных воздействиях. В этом случае подаются предупреждения о приближении серьёзной опасности, когда

необходимо оперативно выяснить причину изменения состояния, по возможности её устранить либо выполнить упреждающие организационные мероприятия;

— аварийное, когда контролируемые динамические характеристики достигают значений, соответствующих расчётным воздействиям, или превосходят их.

При всех видах мониторинга непрерывно в автоматическом режиме контролируется крен фундаментной плиты и верха здания, а также:

- амплитуда ускорения вынужденных колебаний;
- основные частоты собственных колебаний;
- собственные формы колебаний;
- логарифмические декременты колебаний.

При этом амплитуда ускорения вынужденных колебаний имеет высший приоритет. В случае превышения предельно допустимого значения амплитуды ускорения вынужденных колебаний автоматическая сигнальная подсистема мониторинга подает экстренное сообщение о серьёзной опасности («красный» сигнал семафора), прерывая сбор данных для вычисления других контролируемых динамических характеристик.

7. Выбор оптимального количества точек измерений и размещения датчиков для выполнения мониторинга.

7.1. Принцип группировки датчиков и необходимость использования интегрированного комплексного мониторинга.

При выполнении расчетов обычно проводят аналитическое исследование влияния соотношения жесткостей вертикальных и горизонтальных конструктивных элементов зданий различных конструктивных систем на деформацию вертикальной оси здания. При этом основой исследования является решение дифференциального уравнения упругой вертикальной оси здания. *Путем нахождения экстремумов функции деформации вертикальной оси определяются критические точки контроля ее углов поворота.* В результате исследования делается вывод о целесообразности минимизации количества контрольных точек, с ограничением контроля в отдельных критических точках. Обычно положение контрольных точек, делит вертикальную ось здания через 0,25 его длины на углах периметра

этажей. Минимизация необходима из-за сложности обработки и анализа больших данных (Big Data). В результате ручного расчета и исследованиях на компьютерных моделях установлено, что наибольшие деформации имеет коробчато - ствольная конструктивная система, наименьшие деформации имеет рамно - звенный каркас с ядром жесткости, а аутригеры не всегда позволяют резко увеличить жесткость конструкции, максимальную жесткость показала кросс-стеночная модель. Это свидетельствует об особенностях моделирования зданий различными способами и еще раз подтверждает необходимость наблюдения не только за высотными зданиями, но и за всеми нестандартными. Возникает необходимость накопления данных о деформациях зданий с использованием автоматических методов мониторинга. Информация о техническом состоянии здания дополняется информацией о продольных деформациях вертикальных конструкций - колонн, ядер жесткости, измеряемых тензиометрами на бетоне, а также динамической жесткости, определяемой по собственной частоте колебаний акселерометров. При этом важен принцип группировки датчиков и необходимость использования интегрированного комплексного мониторинга.

Хотя для высотных зданий, необходимым требованием при эксплуатации является автоматический постоянный контроль технического состояния, ***полной методики создания и проведения автоматического мониторинга не существует***. Поэтому стараются реализовать полный объем контроля динамических параметров, установкой большого числа акселерометров, с минимальным определением деформаций здания сведено к минимуму. Другой случай когда объектах устанавливается цепочка инклинометров - по всей вертикали здания, а измерения деформаций проводятся только по наиболее жесткому его участку например ядру жесткости. В результате применения большого количества датчиков и поступления значительного объема данных во времени перед службой эксплуатации стоит задача анализа этого объема. При этом, несмотря на то, что автоматический мониторинг является ***не простым процессом и не дешевой*** процедурой участки конструкций зданий, удаленные от центра здания, и влияющие на его жесткость, остаются неисследованными.

При разработке проекта нужно учитывать, что различные конструктивные решения систем высотного здания имеют общие математические зависимости, определяющие их деформацию, в частности, от ветровой статической и динамической нагрузки. Соотношение жесткостных параметров вертикальных и горизонтальных несущих элементов также влияет на работу здания в целом Эксплуатационные нагрузки на разных

участках здания могут быть с различной степенью интенсивности что приводит к изменению характера сопряжения конструкций, изменению физических свойств материалов, изменению форм и размеров.

Как уже указывалось в предыдущих разделах при мониторинге высотных зданий используются методики, основанные на применении основной группы датчиков - тензодатчиков, инклинометров и акселерометров.

С помощью акселерометров, часто применяемых в высотных зданиях, измеряют динамические параметры, наблюдая за которыми с течением времени можно получить информацию о жесткости объекта в целом. Но, регистрация колебаний требует достаточно сложной предварительной обработки на модели конструкции. Особенностью динамических (сейсмометрических) методов является то, что схемы наблюдений могут быть достаточно простыми (до одной точки). Кроме того, они дают возможность контролировать не только величины ускорений, но и позволяют судить о совместной работе здания и основания фундамента и выявлять ранее неизвестные явления. Различные формы колебаний здания показаны на рис. 7.1.

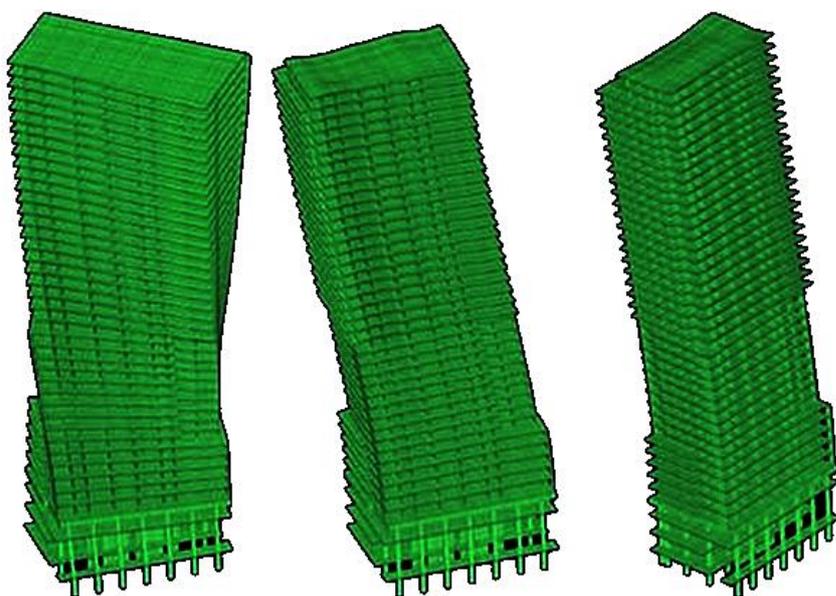


Рис.7.1.Пример возможной формы колебаний здания

На амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), проявляющиеся при эксплуатации здания, влияют жесткость конструкции сложного поперечного сечения здания в плане, типы стыков элементов. При изменении свойств бетона, при образовании и развитии трещин происходит изменение частоты форм колебаний в вертикальных элементах.

В связи с этим задача рационального размещения датчиков и принципа анализа их данных весьма актуальна и требует хорошо обоснованных проектных решений. Математические методы анализа напряженно-деформированного состояния высотных зданий с учетом закономерностей работы несущих систем позволяют решить актуальный вопрос сокращения количества датчиков, необходимых для мониторинга высотных зданий. Одной из целей курсового проекта является обоснование рационального размещения групп датчиков в высотных и большепролетных зданиях на основе понимания особенностей конструктивных решений и дифференциальных функций вертикальной оси.

При этом задачей будет являться решение дифференциального уравнения упругой оси здания при различных соотношениях жесткостей вертикальных и горизонтальных элементов конструкции с нахождением характерных экстремумов, соответствующих изменениям кривизны оси, а также определение зон возможного снижения жесткости, фиксируемой динамическими характеристиками.

Из анализа экстремумов функции деформации вертикальной оси здания при сохранении горизонтальной плоскости перекрытий определяются основные характерные точки контроля, необходимые для минимизации количества датчиков в высотных зданиях.

Жесткость элементов и податливость сопряжений определяют распределение внутренних усилий в основных несущих элементах, а также их перераспределение при внешних воздействиях и нагрузках (рис.7. 2).

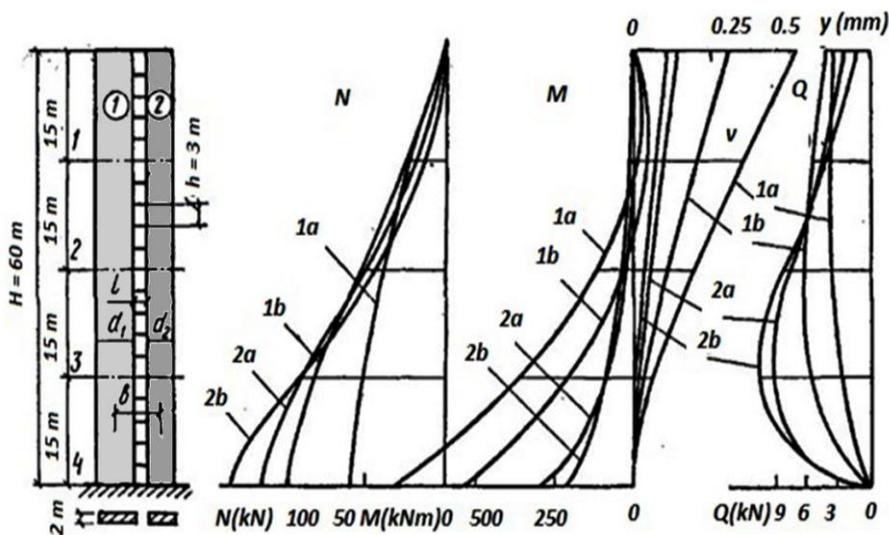


Рис. 7.2. Пример схемы распределения деформаций и усилий по высоте здания.

Графики продольных сил (N), изгибающих моментов (M), поперечных сил (Q), прогиба (V) сопряженной системы с соотношениями приведенных характеристик жесткости между отдельными вертикальными элементами

Эти параметры зависят от их напряженно-деформированного состояния, характеристик используемых материалов, условий эксплуатации. За счет податливости многочисленных швов жесткость дисков перекрытия и покрытия значительно снижается по сравнению со сплошным монолитным перекрытием. Это снижение допускается учитывать введением меньшего значения начального модуля упругости бетона при постоянном соотношении между модулями сдвига и упругости, равном для сборных перекрытий с качественной заделка стыков в пределах 0,15-0,25.

Изменение податливости перекрывающихся дисков приводит к изменению их влияния на перераспределение усилий между вертикальными подсистемами. Чем жестче диск и его сопряжения с вертикальными элементами, тем меньшую разницу горизонтальных перемещений он допускает, а при абсолютно жестких дисках все точки вертикальных конструкций в уровне полов имели бы одинаковые горизонтальные смещения. Деформации зависят от соотношения жесткостей вертикальных и горизонтальных элементов своеобразной рамы (рис. 7.3).

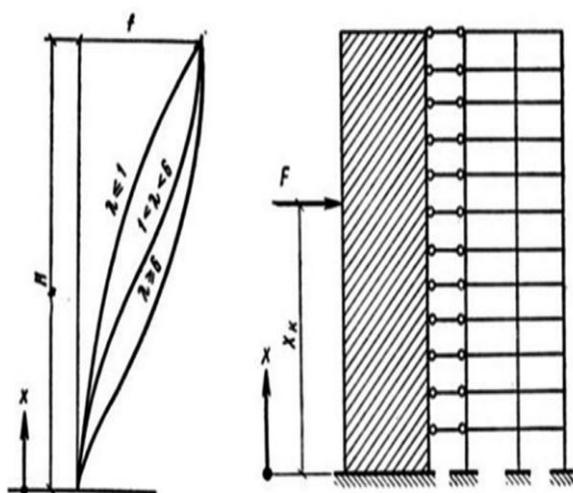


Рис.7.3. Пример схемы распределения деформаций по высоте здания в зависимости от жесткости вертикальных элементов. λ - характеристика жесткости вертикальных элементов диафрагмы (сердцевины), при значении менее 1 - более жесткие вертикальные элементы, более 6 - более гибкие

При разработке проекта, требуемые зависимости можно найти, они представлены в графическом виде в литературе по теории деформирования высотных зданий, где характерные точки разрушения находятся через % высоты здания.

Полы в здании представляют собой соединения на сдвиг, обладающие реальной жесткостью в зависимости от конструкции. Они препятствуют свободному изгибу вертикальных ребер жесткости. В связи с этим линия деформации вертикальных ребер жесткости приобретает S-образную форму, т.е. имеет две кривизны в плоскости, в пространстве соответственно четыре. На рис. 7.4 показана работа сдвиговых соединений в зависимости от их конструкции.

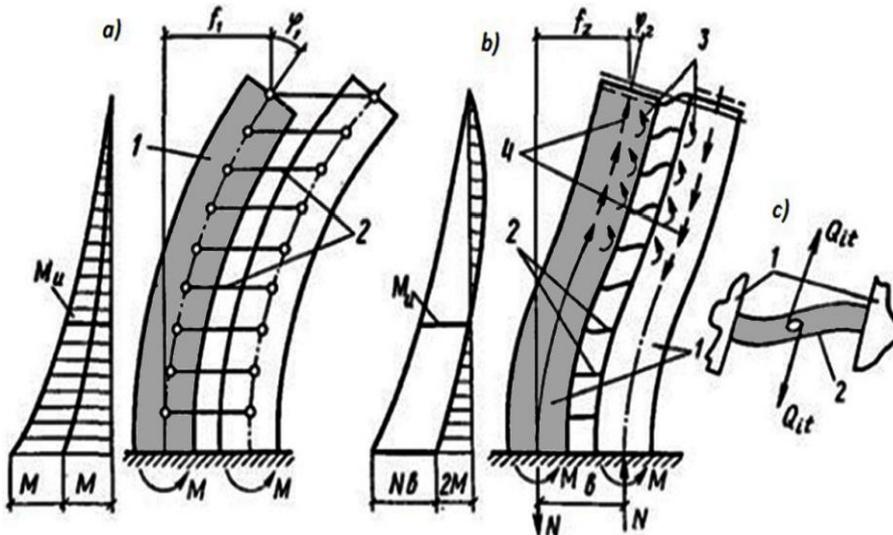


Рис.7. 4.Пример схемы соединений работающих на сдвиг

- а- вертлюг (предельно теоретический), б - реальный (с промежуточной жесткостью), с - деталь деформации связи (перехлест); 1 - стойки (диафрагмы, стержни жесткости), 2 - связи (перекрытия), 3 - изгибающие моменты, 4 - поперечные силы Q_i , передаваемые на ребра жесткости

Основные формулы для определения прогибов получены П.Ф. Дроздовым [41].

Горизонтальное перемещение (прогиб) в любом сечении несущей системы или конструкции в принятой системе координат:

$$v(x) = \int_x^H \alpha dx = v_s(x) + \frac{n \cdot B_a}{(\lambda^2 \cdot B_u \cdot \sum B)}$$

$$\left\{ q \cdot \left[ch\lambda H - ch\lambda x + \beta \cdot (sh\lambda H - sh\lambda x) \right] + \right.$$

$$\left. + (1-a) \cdot \left(1 - \frac{x}{H} \right) \right\} \cdot \lambda^{-2} + M_h(H)$$

где: n - где количество односвязных двусвязных структур; H -высота здания; q - единичная ветровая нагрузка; B_u - изгибная жесткость; B_a - жесткость для одной вертикальной конструкции; $\sum B$ суммарная жесткость колонн (стен) и

жесткость ядер; x - характерная точка излома; a - условное значение, равное 0,3; $v_s(x)$ - прогиб в сечении x несущей системы или конструкции с абсолютно жесткими перемычками или болтами, равный распределенной по закону трапеции нагрузке:

$$v_s(x) = \frac{-q \cdot H^4}{120 \cdot B_u} \left[4 \cdot a + 11 + (a-1) \cdot \left(\frac{x}{H}\right)^5 + 5 \cdot \left(\frac{x}{H}\right)^4 - 5 \cdot (3+a) \cdot \frac{x}{H} \right]$$

β - условное значение, равное:

$$\beta = \frac{E_2 F_2}{E_1 F_1}$$

где E_2 - модуль упругости вертикального элемента (жесткость ядра); F_2 - площадь сечения вертикального элемента (ядра твердости); E_1 - модуль упругости вертикального элемента (колонны или стены); F_1 - площадь сечения вертикального элемента (колонны или стены);

λ - условное значение, равное:

$$\lambda = \sqrt{\frac{k B_u}{s \sum B}}$$

где s - условное значение, равное

$$s = \frac{h l^3}{12 B_u b}$$

$$v'(x) = \frac{H^4 \cdot q}{120 \cdot B_u} \left[\frac{20 \cdot x^3}{H^4} - \frac{5 \cdot a + 15}{H} + \frac{5 \cdot x^4 (a-1)}{H^5} \right] - \frac{B_a \cdot n}{\sum B \cdot B_u \cdot \lambda^2} \cdot \frac{q \cdot \left[ch\lambda x - ch\lambda H + \beta (sh\lambda x - sh\lambda H) - (a-1) \cdot \left(\frac{x}{H} - 1\right) \right]}{\lambda^2} - \frac{q \cdot x^2 (a+2)}{6}$$

7.2. Примеры оптимизации размещения точек измерений и установки датчиков для зданий различных конструктивных схем

В *качестве примера* можно рассмотреть несколько вариантов конструктивных решений зданий с различными конструктивными схемами.

Корпус 1 с рамно-связным каркасом, с монолитным железобетонным ядром жесткости (высота 118,75 м; 26 этажей). (рис. 7.5). Датчики расположены на 1, 6, 12, 18, 23 этажах.



Рис. 7.5. Осадочная модель здания с рамно-связным каркасом

Корпус 2 с поперечно-стеновой конструктивной системой (высота 136,81 м, 44 этажа). (рис.7. 6). Датчики расположены на 1, 11, 22, 33, 44 этажах.

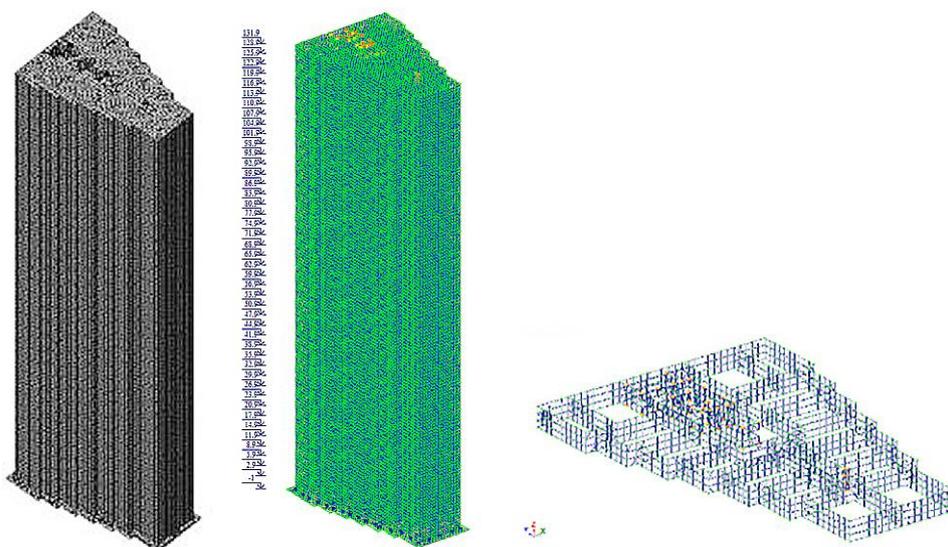


Рис.7.6: Модель осадки здания с поперечной системой

Корпус 3 коробчатой конструктивной системы с выносными этажами (высота 103,5 м; 23 этажа). (рис.7. 7). Датчики расположены на 1, 6, 12, 18, 23 этажах.

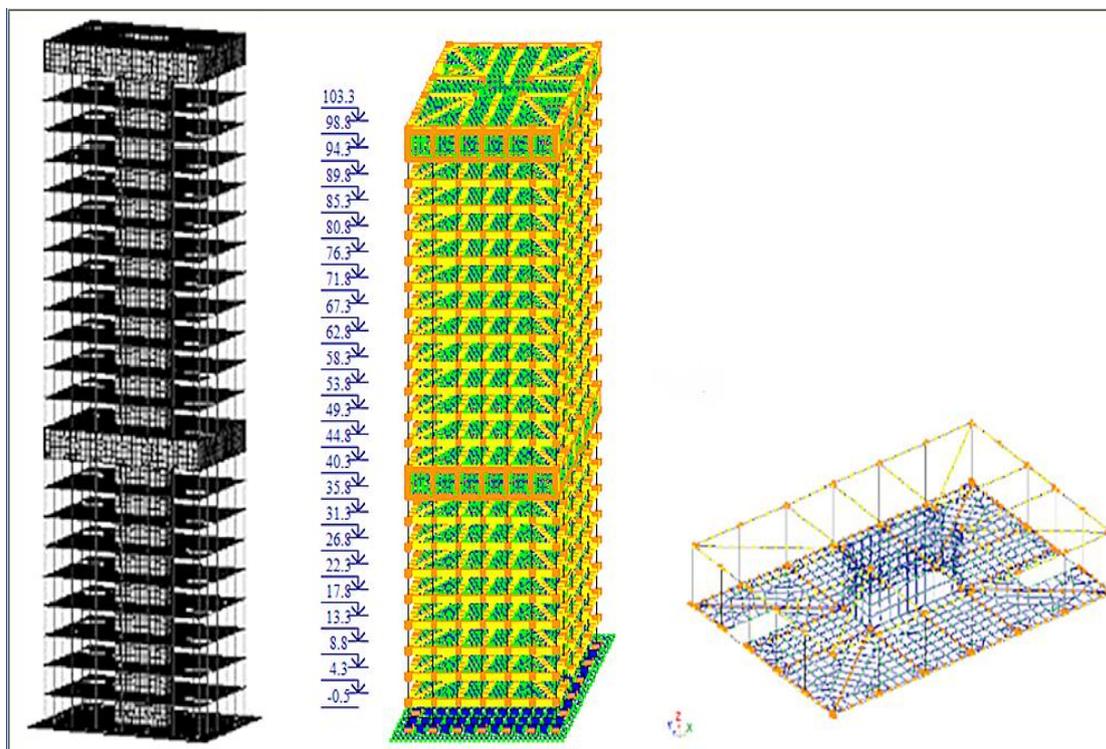


Рис. 7.7. Расчетная модель здания с коробчатой системой

Корпус 4 корпусной конструктивной системы с выносными этажами (высота 100 м, 25 этажей). Проектируемое здание (рис.7.8). Датчики расположены на 1, 6, 12, 18, 25 этажах.

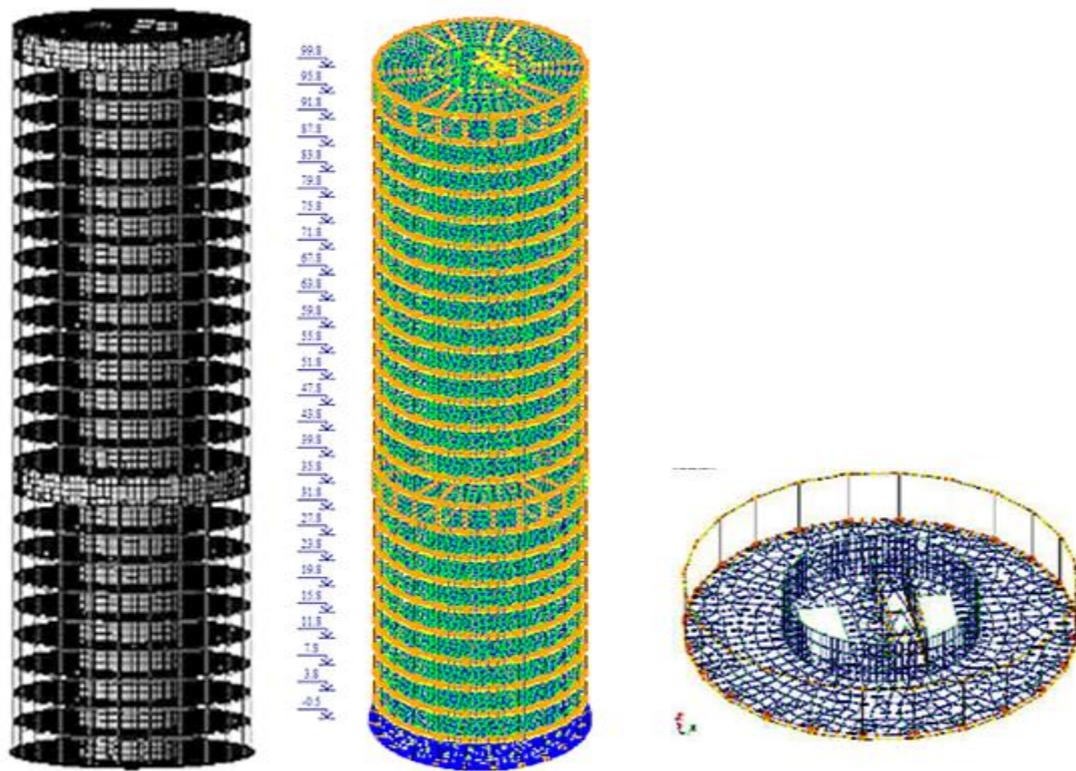


Рис. 7.8. Конструктивная схема здания и план этажа

В результате расчета определяются контрольные точки, расположенные через V_a высоты здания.

При разработке курсового проекта по формулам, представленным в работах П.Ф. Дроздов [41], [42] можно выполнить ручной расчет горизонтальных перемещений в уровнях перекрытий, а также получить расчетные модели методом конечных элементов в программных комплексах Лира САПР, СКАД и др. Для примера на рис. 7.9. приведены деформации зданий, а результаты расчета горизонтальных перемещений - в табл. 1. Для двух вариантах расчета.

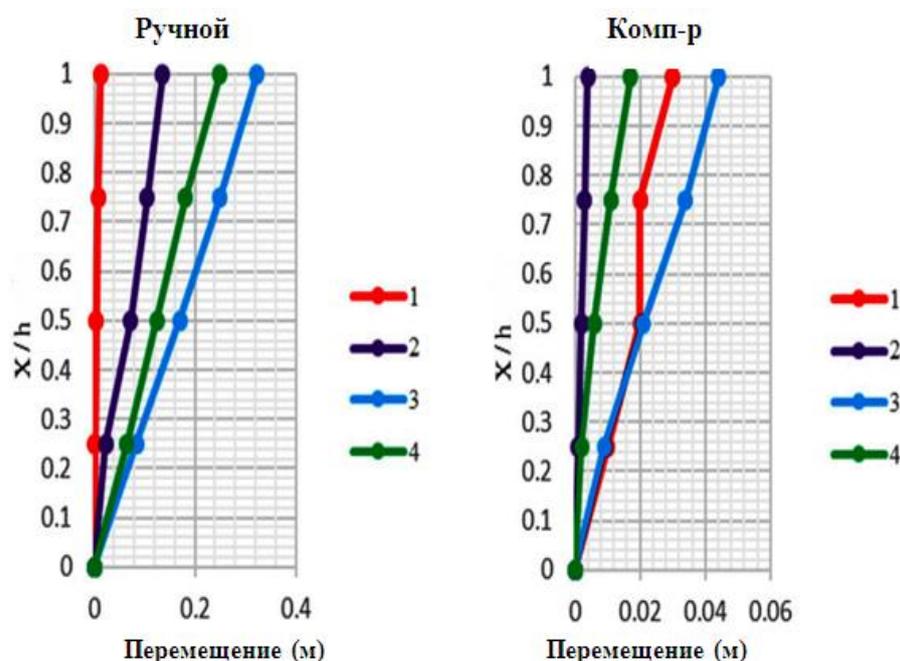


Рис.7.10. Сравнение графиков прогибов плит перекрытия ручной расчет и компьютерный расчет

Следует обратить внимание что при сравнении прогибов вертикальных осей зданий на уровне этажей в ручном и компьютерном расчетах перемещений различаются по некоторым схемам до 6 раз (рис. 7.10). При этом компьютерные модели строились по традиционным методикам — без конечных, переменных связей, жесткости между этажами и вертикальными конструкциями. В теории П.Ф. Дроздова зафиксировала снижение жесткости связей в процессе эксплуатации. В любом случае деформации зависят от соотношения жесткостей вертикальных и горизонтальных элементов каркаса. Компьютерный расчет также показывает несколько экстремумов по высоте здания при изменении наклона касательной к линии изгиба. По результатам компьютерного моделирования установлено, что *линия деформации здания по вертикали носит нелинейный характер, что соответствует общей теории расчета высотных зданий с каркасом связного типа.* Это хорошо согласуется с общей теорией связи каркасов с ядром жесткости. При таком соотношении жесткостей вертикальных и горизонтальных элементов каркаса характерные точки излома располагаются через 0.25 высоты здания, при экстремальных соотношениях жесткостей (более жестких перекрытиях) эти точки могут смещаться несколько ниже. Когда применяются инклинометры используется принцип дифференцирования линии вертикальной деформации по экстремумам, что приводит к тому же принципу непрерывности. Следовательно, количество групп датчиков может быть сведено к количеству точек экстремума.

В большинстве проектов мониторинга обращается внимание на размещение датчиков по вертикали, *но не всегда обращают внимание на деформацию зданий вокруг вертикальной оси и контроль жесткости на*

сдвиг перекрытий. Важность этого подтверждается если рассматривать корреляционные соотношения между углами наклона колонн между этажами и в пределах одного этажа. Показания датчиков GPS следует корректировать по инклинометрам и учитывать показания анемометров на ветровую нагрузку.

Возможно использовать альтернативные способы измерения деформаций зданий например с помощью видеокамер и алгоритмов обработки смещающегося изображения.

На некоторых объектах устанавливается необоснованное количество датчиков, акселерометров на каждом этаже или часто расположенных инклинометров только на фундаментной плите и на крыше здания.

В общем распределение акселерометров должно основываться на вибрационных характеристиках конструкции и анализе теоретической модели.

Необходимо изучения деформаций зданий, в том числе изгибных и крутильных. Высотные здания постоянно находятся в движении. Здания испытывают неизбежные колебательные движения под действием ветровых и сейсмических нагрузок, которые носят динамический характер. Оперативный контроль технического состояния здания осуществляется на собственной частоте колебаний и ускорение контрольных точек от динамических нагрузок, определяемое при нормальной эксплуатации объекта во всем контролируемом диапазоне частот, включая более высокие частоты. Акселерометры размещены равномерно по высоте здания. В случае использования компьютерных систем на основе метода конечных элементов для определения частот колебаний несущих систем зданий следует принимать собственные частоты, соответствующие форме колебаний, наиболее близкой к форме смещения здания от статической нагрузки. (максимальные амплитудные отклонения). Оперативное управление состоянием осуществляется по частоте собственных колебаний нескольких высших форм.

Дополнительную информацию о состоянии высотного здания хорошо дает тензодатчик, работа которого основана на определении напряжений и деформаций. ***Тензометр позволяет проследить процесс перераспределения усилий в вертикальных несущих элементах в результате неравномерной осадки здания, изгибающегося от ветра.***

Наиболее полезную информацию о деформациях зданий можно получить с помощью инклинометров. Они дают информацию о деформациях высотного здания в пространстве.

В курсовых проектах рекомендуется использовать принцип размещения инклинометров по зданию «центр - углы здания». При этом

хорошо прослеживается соотношение углов наклона колонн с максимальными значениями. Наклон всех колонн может происходить в одну сторону, что означает общий крен здания, в два направления - деформации в пространстве, и закручивание вокруг оси здания. Необходимо сравнить деформации крайних колонн с деформациями центра здания (ядра жесткости). **В дальнейшем это сравнение должно быть реализовано программно в системе СММК.** В процессе подготовки мониторинга следует учитывать, что основная часть деформации приходится на вес конструкций, а тензодатчики, инклинометры и тензометры **устанавливаются после этого воздействия.** Предысторию деформаций можно определить теоретически, при этом необходимо оценить уровень напряжений в вертикальных элементах относительно предельных с учетом доли не линейные деформации. **Минимальное количество датчиков принимается в критических точках контроля из принципа измерения деформаций на крайних точках линии прогиба здания, характеризующей форму вертикальной оси здания в зависимости от соотношения жесткостей элементов системы. и их изменения в процессе эксплуатации.**

На рисунках 7(11-19) приведены примеры расположения различных датчиков на различных высотных отметках для различных конструктивных схем зданий.

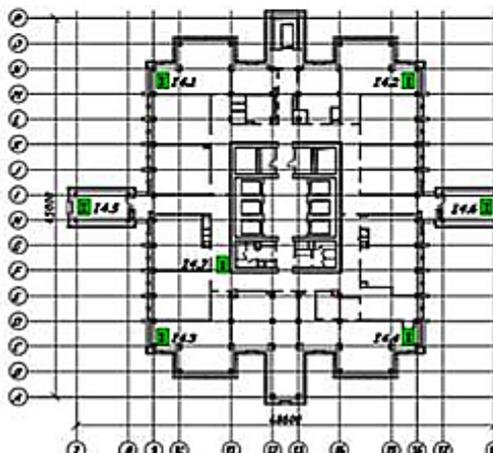
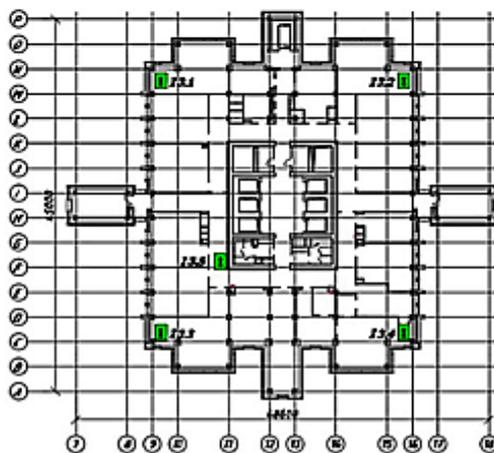
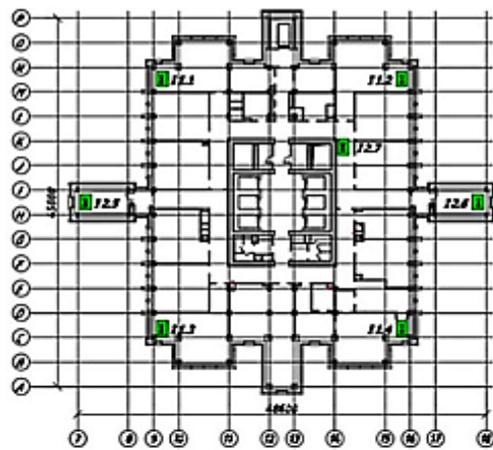
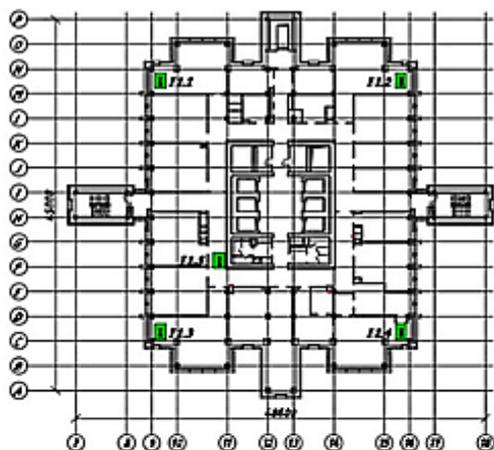


Рис.7.11. Расположение инклинометров рамно-связного каркаса с монолитным железобетонным заполнителем на 7, 13, 20, 26 этажах

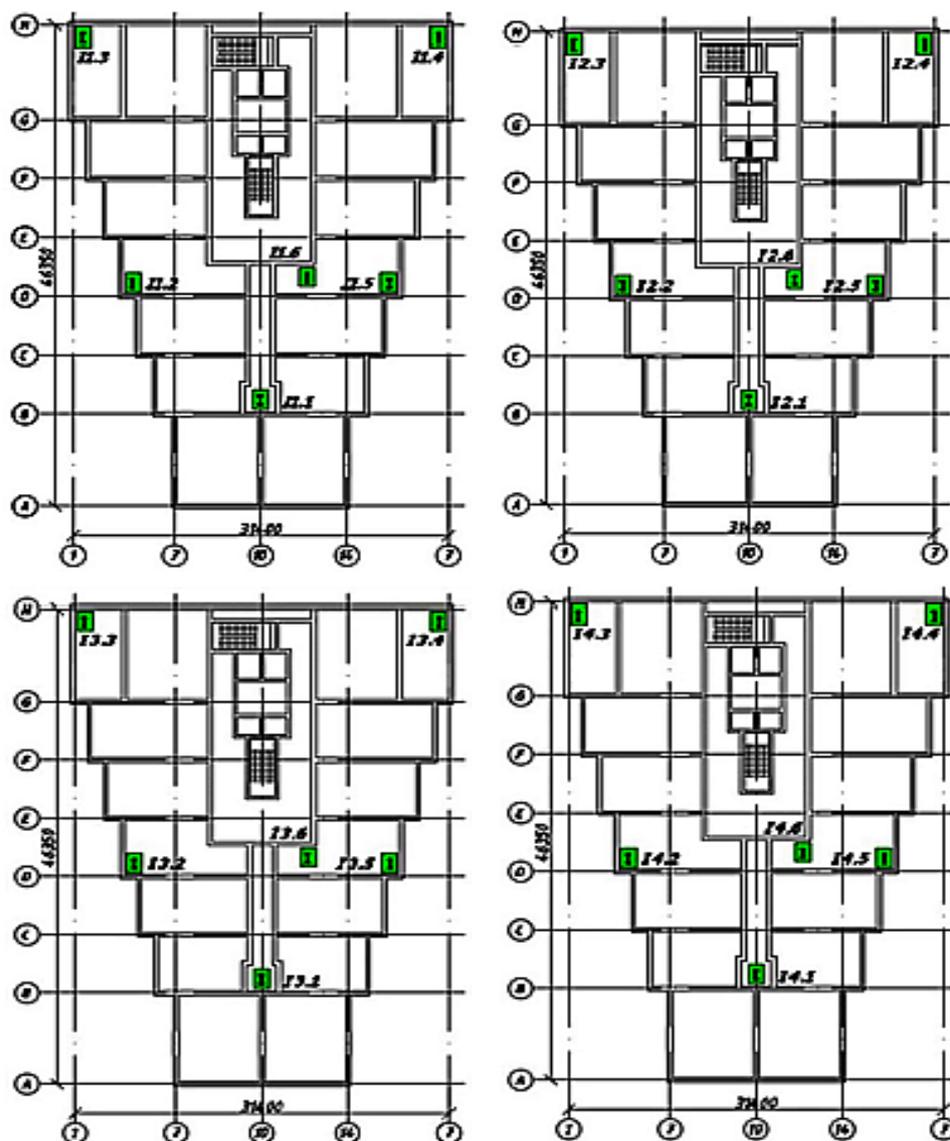


Рис.7.12. Расположение инклинометров поперечной конструктивной системы на 11, 22, 33, 44 этажах

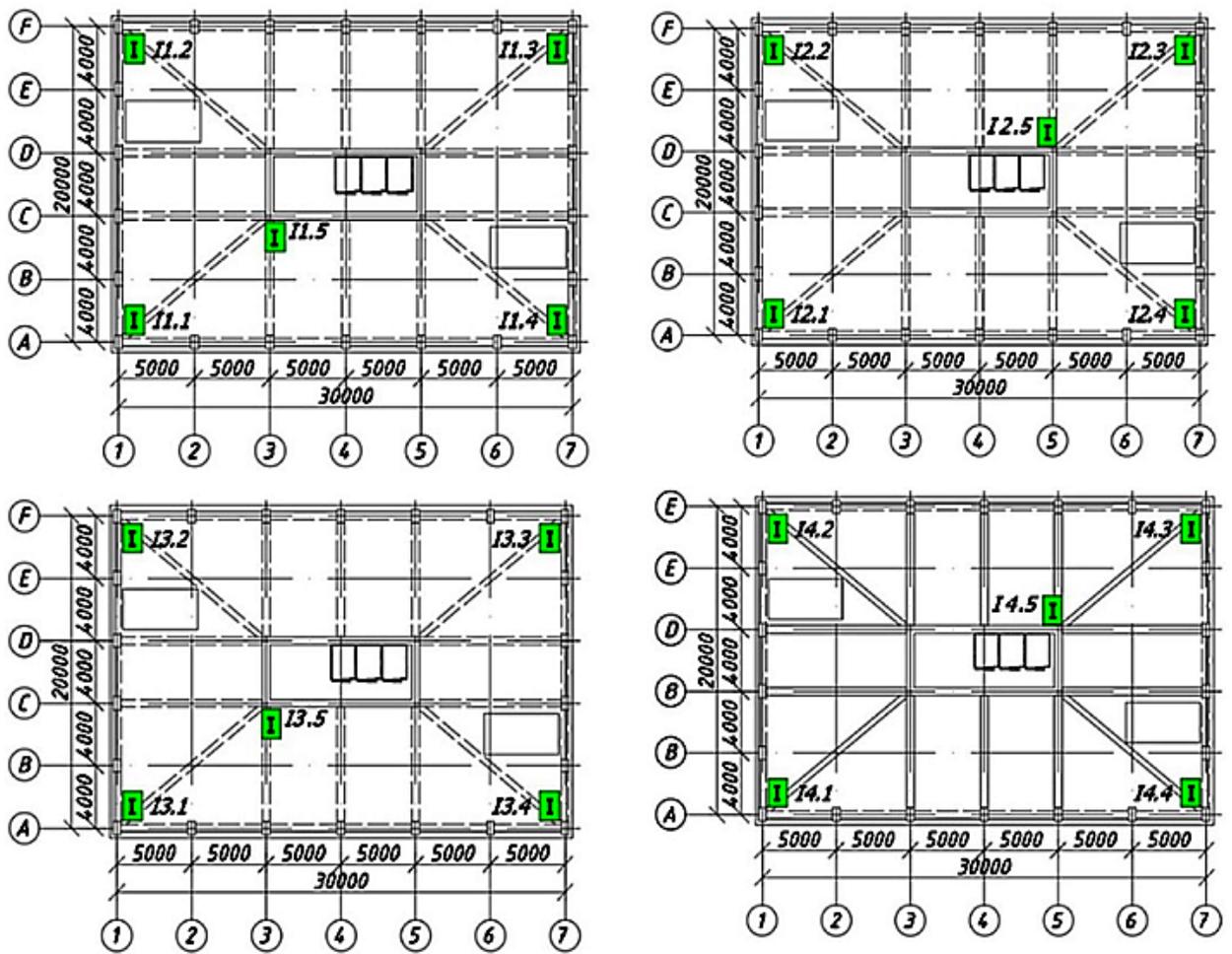


Рис.7-13. Расположение инклинометров для коробчатой конструктивной системы с аутригерными перекрытиями на 6, 12, 18, 23 этажах

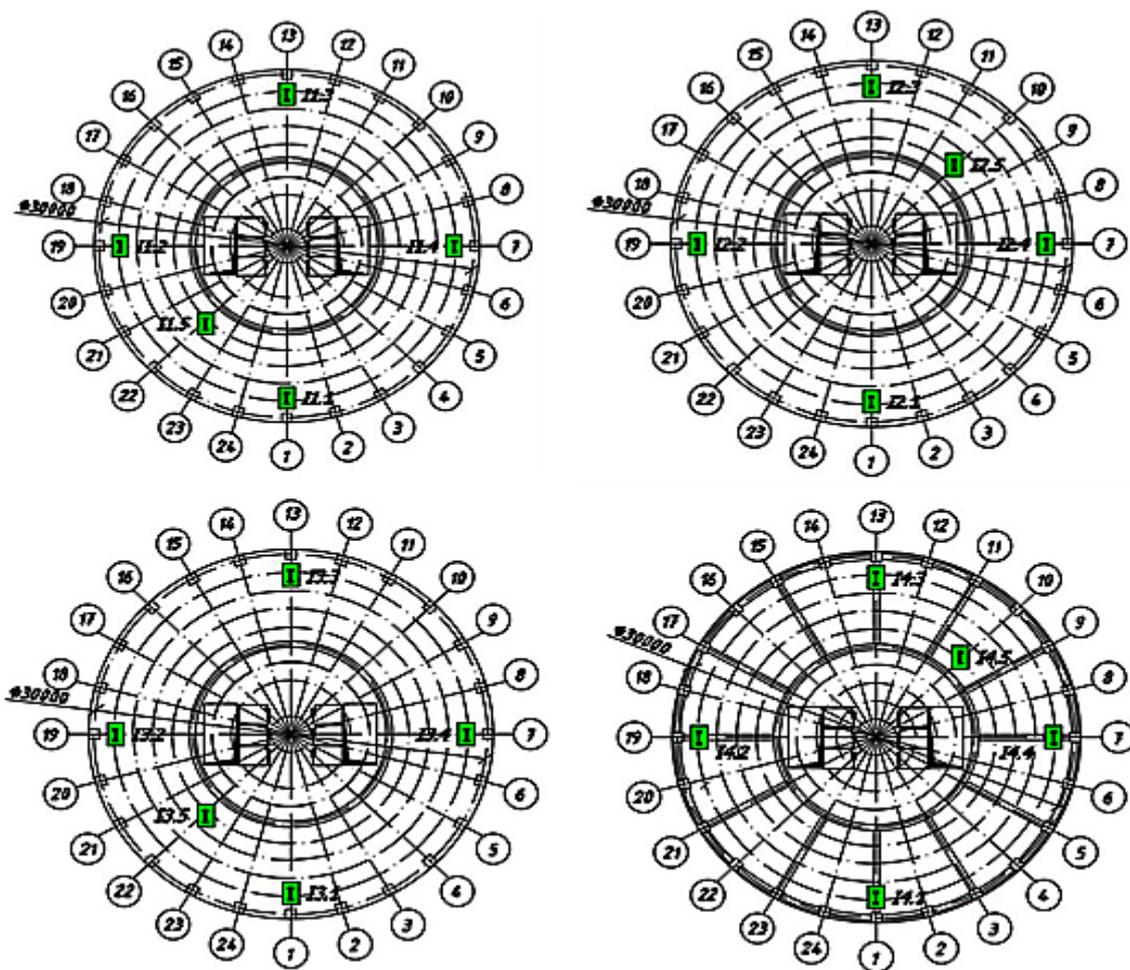


Рис.7. 14. Расположение инклинометров конструктивной системы оболочки с ауриггерными перекрытиями на 6,12, 18, 25 этажах

По расчетам максимальный угол наклона временной нагрузки составил $379''$. Максимальный угол крена для высотного здания $412''$ по СНиП СП 20.13330.2016. Аналогично по EN 1990 при максимально возможном отклонении здания от вертикали $L/500$.

Исходя из этого, были взяты инклинометры с диапазоном измерения $\pm 720''$ (угловых секунд) - двухкоординатные. Расположение инклинометров показано на рис. 11 - 14.

Значения предельных относительных деформаций при длительной нагрузке СП 63.13330.2018 при относительной влажности окружающего воздуха 40-75% при сжатии для тяжелого бетона составляют 0,0034. По EN 1992 (Еврокод 2) в аналогичных условиях - 0,0035. Под действием расчетных нагрузок относительные деформации в нижних ярусах колонн составили 1, для здания - 0,00227, в ядре жесткости - 0,0003. Для всех зданий эти значения не превышали предела. Исходя из этого, были приняты тензодатчики с максимальным диапазоном измерения до 3000 микродеформаций (пм/м). Расположение тензодатчиков показано на рис. 15.

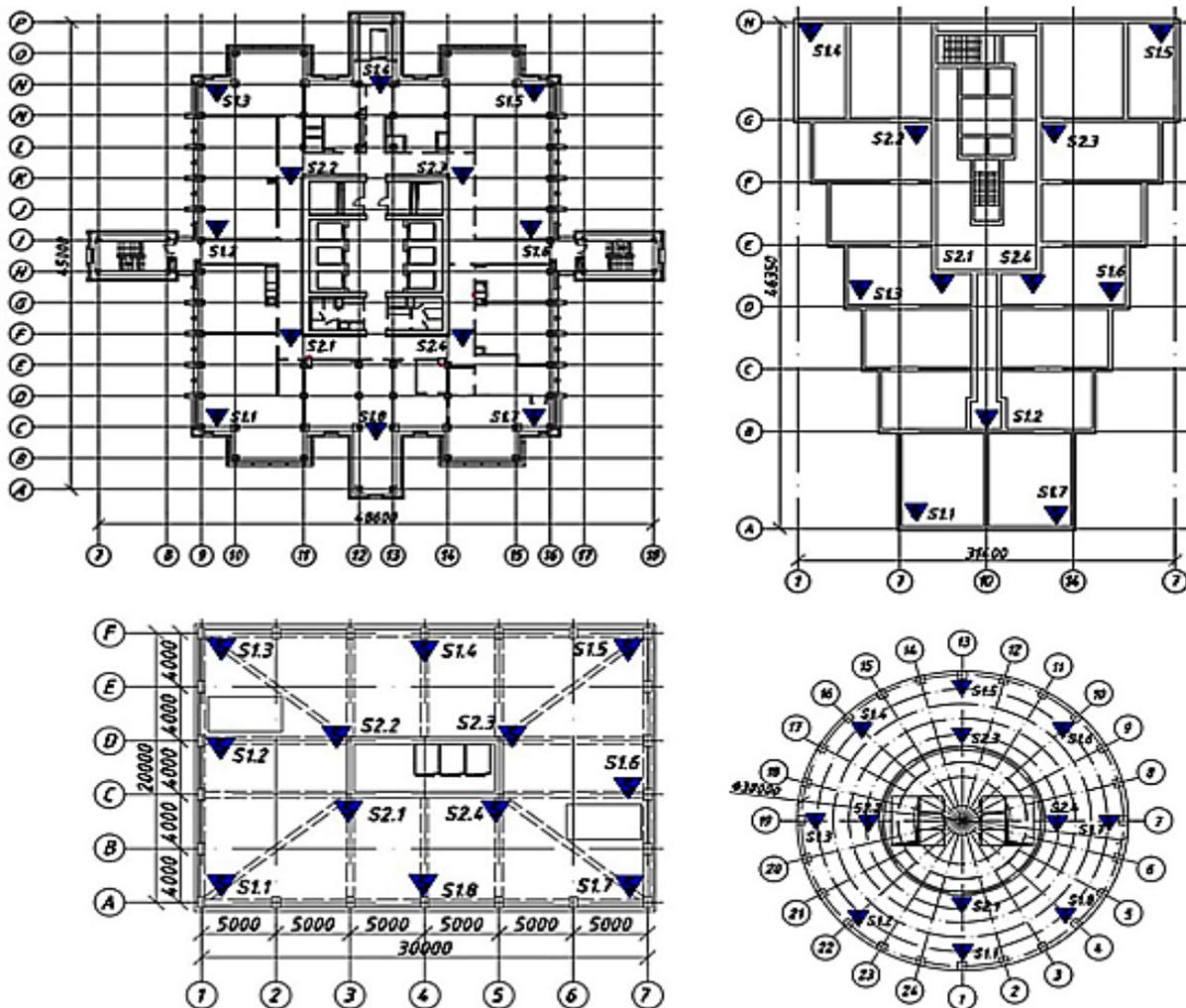


Рис.7.15. Расположение тензорезисторов для различных конструктивных систем высотных зданий на 1-м этаже

По результатам компьютерного моделирования максимальные собственные частоты колебаний всех форм для всех зданий составили: 1,38; 1,17; 1,25; 1,67 Гц. Все они находятся в пределах первой формы колебаний по СНИП СП 20.13330.2016 для различных ветровых районов. С учетом дополнительных гармоник от колебаний местных элементов были взяты акселерометры с низким уровнем диапазона, от 0,1 до 40 Гц. Расположение акселерометров показано на рис. 16-19.

Особое внимание при установке инклинометров следует уделить опорной плите. Пластина получает часть деформаций от действия постоянной нагрузки собственного веса ядра жесткости, что может привести к ее «вогнутости», однако датчики устанавливаются после такой ситуации, исходное состояние необходимо принимать во внимание. учет при определении углов поворота от временной нагрузки. Если учитывать только ветровую нагрузку, опорная плита может «оторваться» от основания, то следует внести поправку на показания инклинометра. В физически существующем здании такого размера нет отделения фундамента от цоколя, так как при этом собственный вес здания. Однако необходимо учитывать

одностороннее изменение угла поворота опорной плиты под действием ветровой нагрузки.

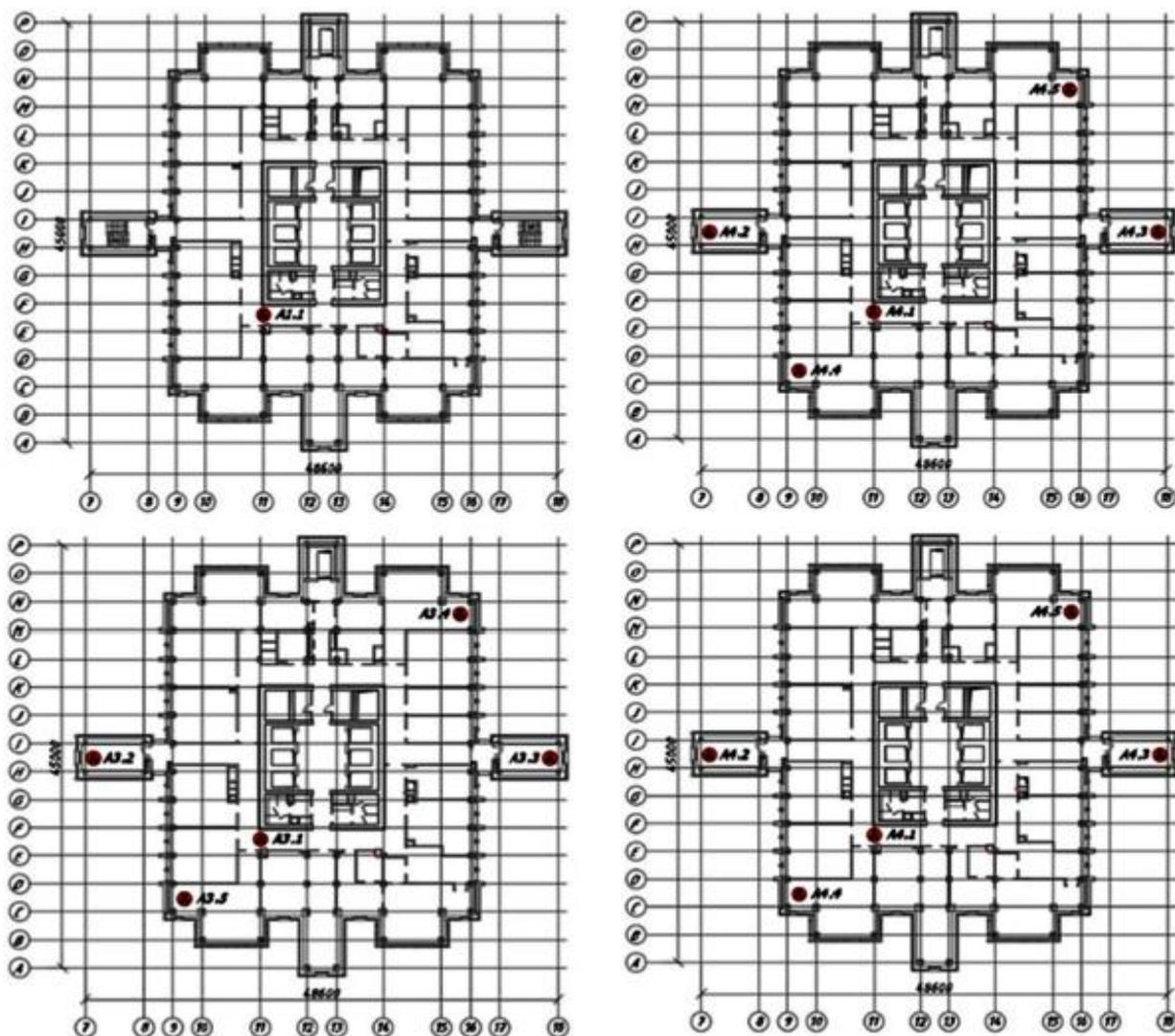


Рис.7.16. Расположение акселерометров для рамно-связного каркаса с монолитным железобетонным заполнителем жесткостью 7, 13, 20, 26 этажей

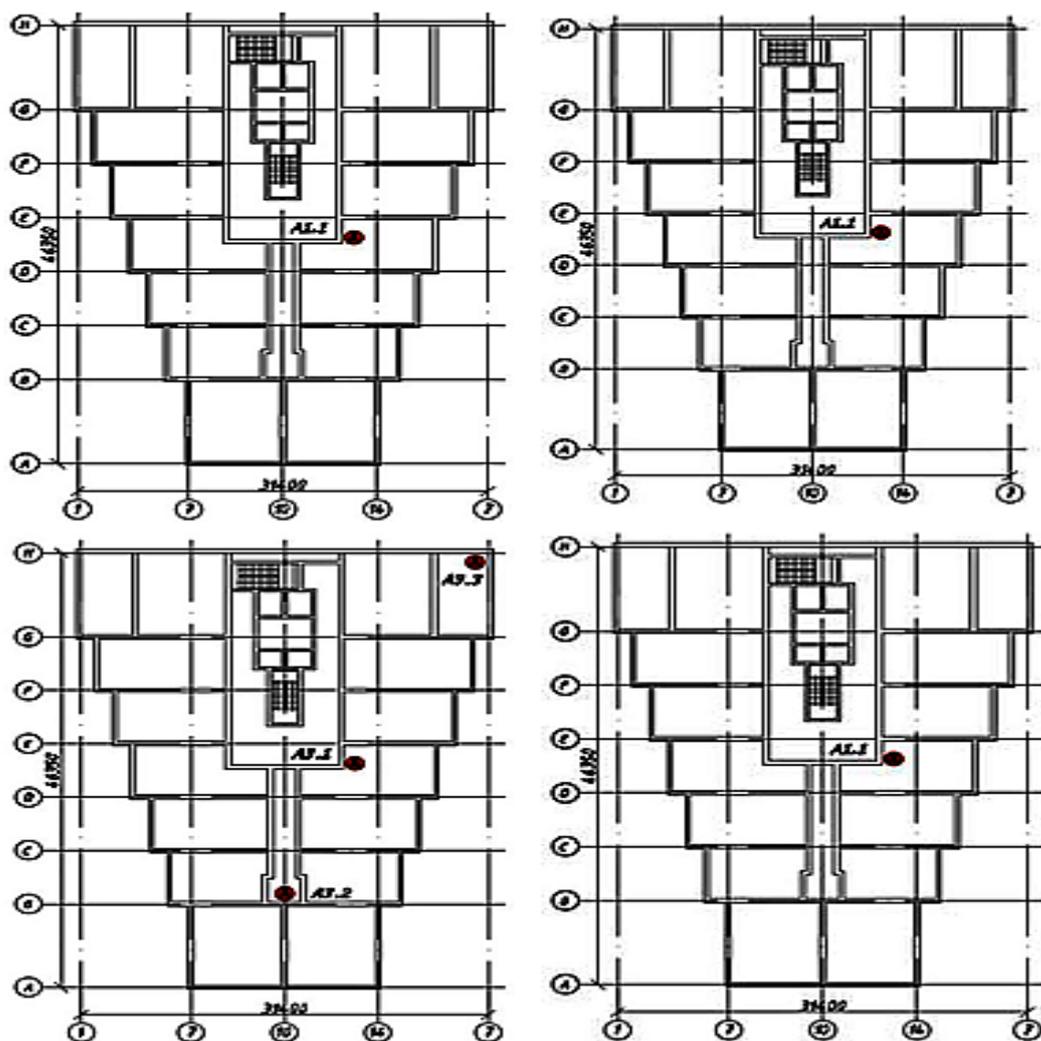


Рис.7.17. Расположение акселерометров поперечной конструктивной системы на 11, 22, 33, 44 этажах

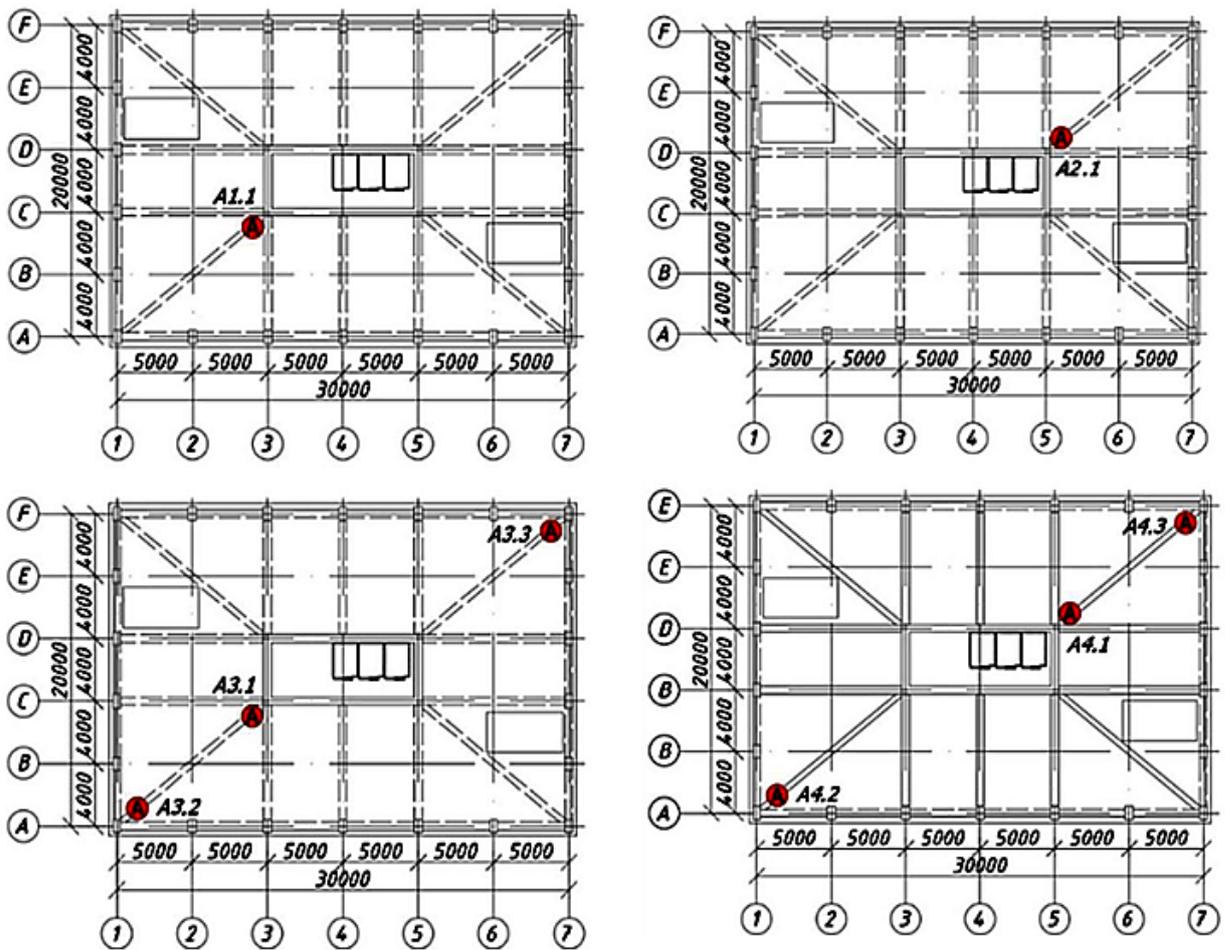


Рис.7.18. Расположение инклинометров коробчатой конструктивной системы с аутригерными перекрытиями на 6,12, 18, 23 этажах

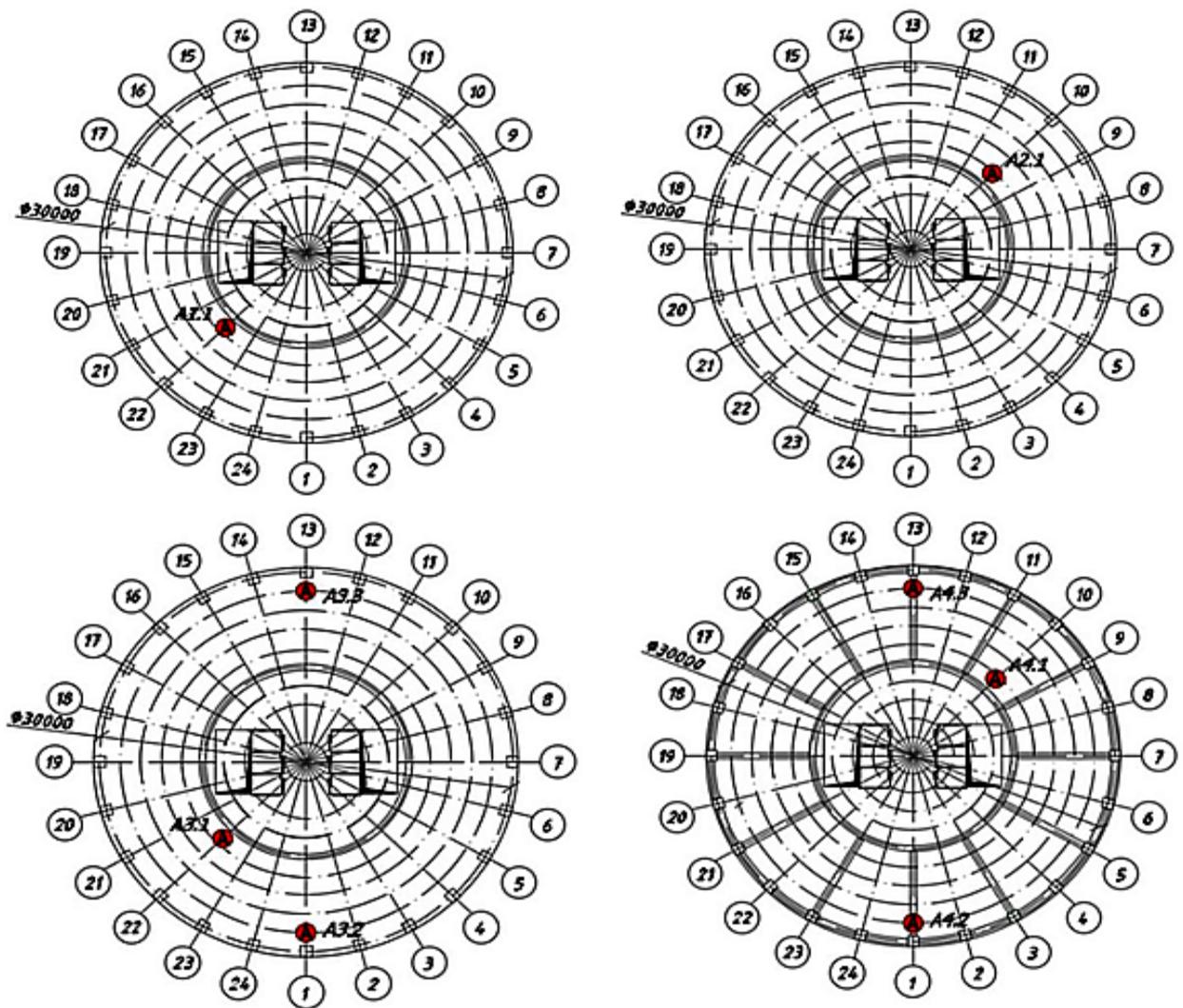


Рис.7. 19.Расположение инклинометров конструктивной системы оболочки с ауриггерными перекрытиями на 6,12, 18, 25 этажах

7.3. Общие рекомендации по назначению точек измерений и размещению датчиков

1. Для автоматического (непрерывного) мониторинга высотных зданий рекомендуется комплексный (комплексный) метод, включающий измерение углов поворота, частоты и амплитуды колебаний, деформаций вертикальных несущих конструкций.
2. Из общей теории расчета высотных зданий и компьютерных расчетных моделей следует, что датчики СМИК следует устанавливать равномерно по всему зданию, охватывая периметр этажей и всю высоту.
3. Замеры следует проводить по контуру перекрытий на этажах через каждые 1/4 высоты здания, а также по ядру жесткости для контроля целостности перекрытий и их примыкания к ядру жесткости.

4. Акселерометры рекомендуется устанавливать на тех же отметках, что и инклинометры, на ядре жесткости, в центре здания, как более жесткий элемент, определяющий общую жесткость здания.

5. В нижних ярусах вертикальных несущих элементов рекомендуется устанавливать тензометрические датчики, показания которых коррелируют с инклинометрами.

6. Необходимо разработать компьютерные программы, отслеживающие корреляцию между показаниями групп датчиков, что позволит полнее раскрыть возможности интегрального контроля.

8. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций высотных зданий

В высотных объектах существенное влияние на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций оказывают наклоны и ветровые нагрузки, что создает большую рассеянность мест накопления деформационных повреждений в этих конструкциях.

Из-за чрезмерной трудоемкости, даже современные методы, основанные на традиционном обследовании, экономически малопригодны для уникальных объектов в силу большого объема работ. Поэтому возникает необходимость выявления изменений напряженно-деформированного состояния конструкций и локализации мест такого изменения с использованием других методов, позволяющих автоматизировать процесс измерений. *Для выявления изменений напряженно-деформированного состояния конструкций рационально использовать динамические методы зондирования зданий и сооружений, основанных на измерении периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний зданий и сооружений.*

Однако и эти методы мало пригодны для высотных и больше пролетных объектов. Это связано с тем, что вклад изменения напряженно-деформированного состояния, какой либо его части в величины периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний становится все меньше и меньше. *Поэтому требуются более точные измерения периодов собственных колебаний здания*, точность которых связана с достаточно большим количеством ограничивающих факторов:

-уровнем динамического воздействия, вызывающего собственные колебания здания;

-точностью повторной установки приборов вдоль осей здания;

-погодными условиями во время измерений;

-уровнем и частотным составом динамического шума во время измерений; методами выявления периодов и логарифмических декрементов колебаний из полученных записей и др.

Кроме того, даже выявленные изменения в периодах и логарифмических декрементах колебаний, свидетельствуют лишь о том, что необходимо

проводить традиционное обследование всего здания и определять где и что изменилось в конструкциях и опасно ли это изменение для эксплуатации здания. Эта методика не позволяет локализовать места изменения напряженно-деформированного состояния конструкций здания.

Это требует разработки методики динамического зондирования и ранней диагностики деформационного состояния несущих конструкций, основанная на анализе изменения передаточных функций, построенных для различных по высоте и площади участков здания. Эта методика применима и для протяженных в плане зданий, в этом случае передаточные функции строятся для различных участков здания вдоль протяженной оси. ***Под передаточной функцией части*** здания понимается отношение компонент спектров мощности зарегистрированных сигналов в двух точках здания, а именно в месте динамического воздействия, заданного в виде широкополосного импульса, и в месте регистрации отклика этого воздействия, прошедшего через рассматриваемую часть здания.

Такая передаточная функция характеризует напряженно-деформированное состояние конструкций именно в той части здания, через которое прошел заданный широкополосный импульс. Изменение передаточной функции (изменение величин коэффициентов усиления для различных частот) свидетельствует об изменении напряженно-деформированного состояния конструкций именно в этой части здания. Таким образом, удастся не только выявить изменение напряженно-деформированного состояния конструкций здания, но и локализовать место такого изменения в пределах количества этажей здания (для случая вертикального расположения точек измерения) между соседними точками измерения. Для высотных зданий целесообразно производить измерения через каждые пять этажей, ограничивая область локализации изменения напряженно-деформированного состояния в пределах данной этажности, где при необходимости потребуется проводить традиционное обследование и выяснять степень опасности изменения напряженно-деформированного состояния конструкций.

8.1. Общие сведения о структурированной системе мониторинга

Системы мониторинга разрабатываются для проектируемых и построенных ранее объектов. Более того, мониторинг несущих конструкций необходим также на всех стадиях строительства зданий и МЧС России разработало и выпустило несколько государственных стандартов (ГОСТ Р 22.1.12-2005, ГОСТ Р 22.1.12-2005, ГОСТ Р 22.1.13-2013, ГОСТ Р 22.1.14-2013) и региональных нормативных документов по оценке состояния построенных и строящихся зданий, где указано на необходимость ***создания систем мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС)***. Основные требования к СМИС определены в ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях».

8.2.1. Структура СМИС

Принято что СМИС состоит из нескольких подсистем:

- системы сбора данных и передачи сообщений (ССП);
- системы связи и управления в кризисных ситуациях (СУКС);
- *системы мониторинга инженерных (несущих) конструкций*, опасных природных процессов и явлений (СМИК).

При выполнении курсового проекта в качестве СМИК может быть использована бюджетная автоматизированная стационарная система представляемая предприятием «Электронные технологии и метрологические системы - *компания ZETLAB*» созданная на базе СКБ ФГУП ВНИИФТРИ (Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений)

СМИК компании ZETLAB является составной частью структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). Она может интегрироваться с уже существующей системой сторонних производителей. СМИК ZETLAB разработана в соответствии с ГОСТ Р 22.1.12-2005 *и предназначена для предупреждения перехода объекта мониторинга в ограниченно работоспособное или аварийное состояние*. Эта система позволяет на ранней стадии обнаружить изменения несущей способности элементов конструкции здания и грунтового основания, своевременно информировать эксплуатационный персонал об опасном изменении параметров состояния несущих конструкций объекта.

СМИК позволяет контролировать следующие параметры:

- напряженно-деформированное состояние;
- крен и смещение элементов несущих конструкций;
- собственные частоты колебаний и логарифмический декремент затуханий;
- уровень сейсмического воздействия;
- осадку основания фундамента.

Для фиксации значений этих параметров на объекте устанавливаются различные цифровые датчики (рис.8. 1-4), которые регистрируют значение измеряемого параметра и передают данные в режиме реального времени в программное обеспечение ZETLAB для анализа, архивирования и информирования дежурно-диспетчерских служб о превышении установленных порогов. В базовую комплектацию СМИК ZETLAB входят:

- цифровой акселерометр (например, ZET7152-N для определения виброускорение / декремент затуханий);
- цифровой сейсмометр (например, ZET 7156 для определения виброскорость/декремент затуханий);
- цифровой тензодатчик (например , ZET 7110 DS для определения растяжение/сжатие);
- цифровой струнный тензомер (например , ZET 7082 для определения растяжение/сжатие);

- цифровой инклинометр (например , ZET7154 для определения наклон/прогиб);
- узел сбора информации (УСИ).



Рис.8.1. Цифровой сейсмометр ZET 7156



Рис. 8.2. Тензодатчик ZET 7110 DS



Рис. 8.3. Струнный тензометр ZET 7082



Рис.8. 4. Инклинометр ZET 7154

Базовый комплект СММК от компании ZETLAB обеспечивает мониторинг ускорения и вибраций, регистрацию основных мод и возможность найти логарифмический декремент затухания конструкций, а также отслеживание относительных деформаций конструктивных элементов (рис. 5).



Рис.8. 5. Инклинометров ZETLAB для мониторинга крена.

Для решения специфических задач компания ZETLAB поставляет, специализированные комплекты СМИК. Налажен выпуск мобильной системы мониторинга большепролетных конструкций для комплексной диагностики каркасов высотных зданий.

Компанией ZETLAB разработан и создан диагностический комплекс «Стрела ZET» для проведения диагностики зданий и сооружений по нормам МЧС и мобильная система мониторинга для периодических тестов несущей способности конструкций; эта система *позволяет с достаточной оперативностью определить наиболее подходящие места для размещения цифровых датчиков.*

Показания датчиков передаются в программное обеспечение системы СМИК, которое обеспечивает первичную обработку и передачу измерительной информации, а также ее анализ и отображение. Программное обеспечение - собственная разработка компании ZETLAB, оно состоит из нескольких компонентов (модулей). Например, программа «Просмотр трендов» позволяет ранжировать абсолютные и относительные измеренные числовые значения, сохранять отчет в формате электронных таблиц, выводить результаты на печать, отправлять запросы в базу данных событий, просматривать информацию из журналов регистрации показаний.

8.2.2. Пример разработки системы онлайн-мониторинга.

Проектом должно предусматриваться создание системы мониторинга предусматривающей указание мест размещения требуемых первичных преобразователей (датчиков), способов их закреплений, условий эксплуатации системы инструментального мониторинга основных несущих конструкций, ответственных за надежность и безопасность высотного здания.

Система мониторинга, построенная на основе программно-аппаратного комплекса ZETLAB. *Эта система при незначительных затратах на покупку и эксплуатацию позволяет избежать необратимых последствий в случае достижения конструкциями предельных для нормальной эксплуатации состояния.* Ее аппаратную часть составляют цифровые

короткопериодные сейсмометры (например, ZET 7156 Ver. 1), показания которых обрабатываются в ПО ZETLAB (рис.8. 6) согласно ГОСТ 34081-2017 «Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний».

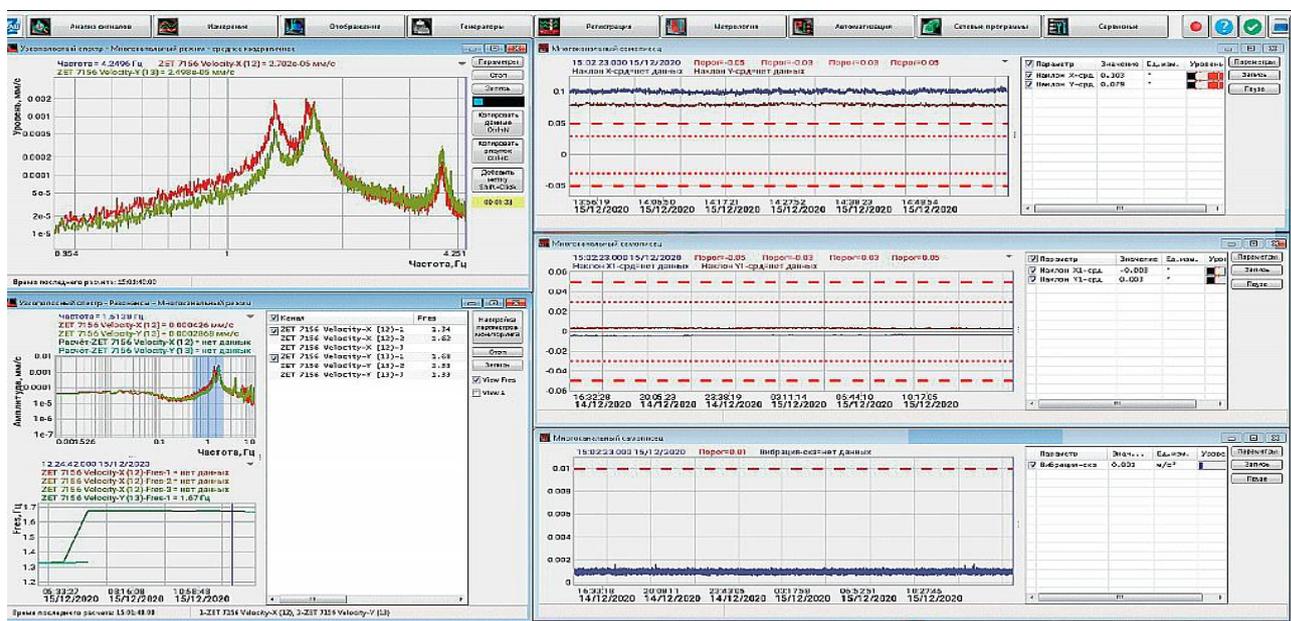
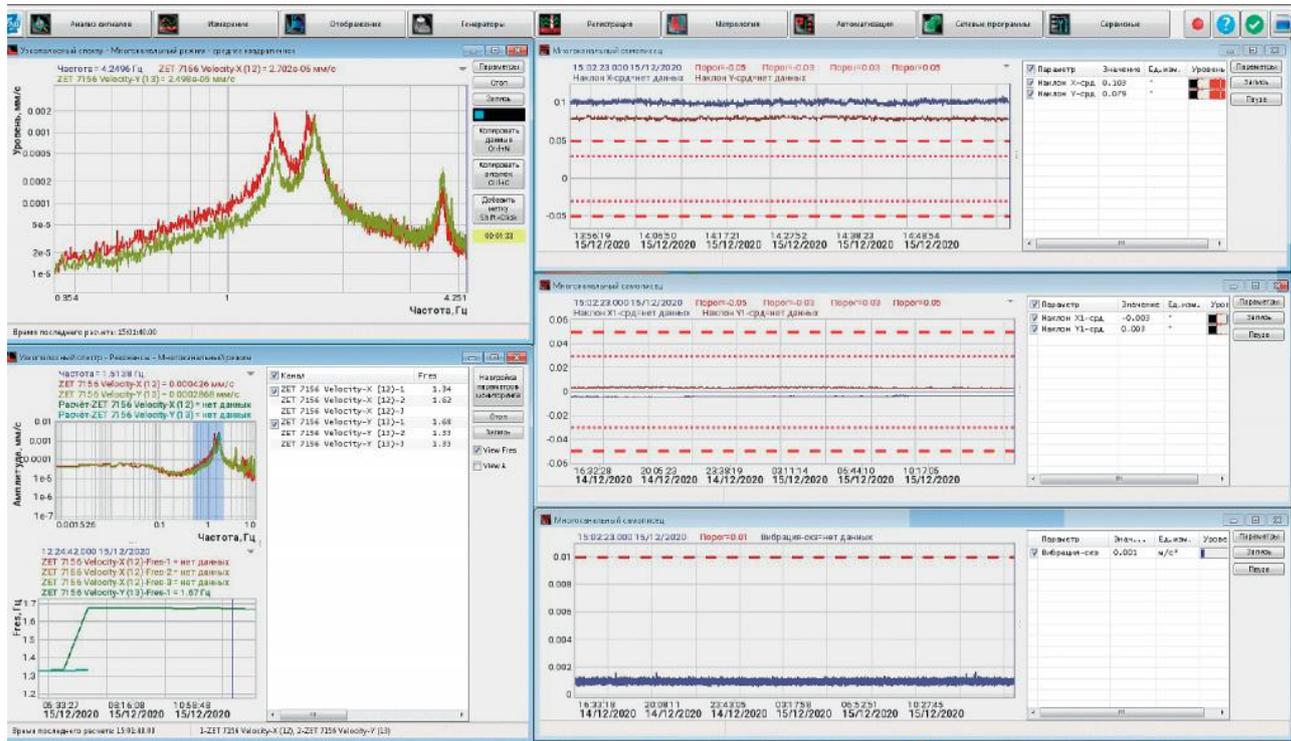


Рис.8. 6. Динамические характеристики конструкций здания в программе «Просмотр трендов» компании ZETLAB

Частоты собственных колебаний и соответствующие им логарифмические декременты затуханий зданий и сооружений являются медленно меняющимися параметрами, для обработки которых необходима длительная регистрация большого количества измерений (тренды),

позволяющая анализировать частоты собственных колебаний конструкций и динамику поведения здания в зависимости от времени года, времени суток, а также различных климатических условий. Отображение в программе соответствует «Методике оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений», выпущенной МЧС.

8.2.3. Пример разработки системы инструментального мониторинга основных несущих конструкций здания.

Цель создания, установки и эксплуатации системы инструментального мониторинга основных несущих конструкций, ответственных за надежность и безопасность здания:

- проведение системного, долговременного контроля постоянных и временных нагрузок;
- контроль возникающих при этом напряжений и усилий в опасных сечениях элементов несущих конструкций для установления соответствия фактического напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций расчетным данным;
- упреждающее обнаружение критических и предаварийных ситуаций;
- контроля перемещений и деформаций конструкций фундаментов и остова высотной и двухэтажной с подвалом частей здания.

Задачи системы инструментального мониторинга:

- выбор и назначение основных конструктивных элементов — объектов контроля для наблюдения за ними;
- определение в выбранных конструктивных элементах опасных сечений и назначение опасных точек для инструментальных измерений;
- разработка методов определения контролируемых параметров;
- выбор серийных или разработка индивидуальных технических средств контроля, изготовление и установка их на объекте;
- проведение инструментальных измерений, фотографического фиксажа и визуальных наблюдений в режиме реального времени;
- поэтапная и итоговая обработка полученных данных;
- оценка технического состояния отдельных конструкций и здания в целом путем сопоставления (анализа) натурных наблюдений с результатами расчетов или характеристиками заданных критериев;
- предупреждение и оперативное устранение негативных процессов при научно-техническом сопровождении и геотехническом мониторинге на объекте.

Объем работ по техническому мониторингу высотного здания.

А. Подземная часть здания:

- сопоставительная проверка достоверности выполненных в пред проектный период инженерно-геологических изысканий;

- контроль перемещений и отклонений конструкций ограждения глубокого котлована и оседания поверхности грунта за пределами контура котлована в зоне влияния;
- контроль осадки, перемещений и отклонений комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ) от вертикальных, горизонтальных нагрузок и моментов на всех этапах возведения и эксплуатации здания;
- контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) массива грунта в основании комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ) на всех этапах возведения и эксплуатации здания.

Б. Надземная часть здания:

- контроль вертикальных и горизонтальных перемещений и отклонений основных несущих конструкций остова, включая: колонны; пилоны; диафрагмы и ядра жесткости; междуэтажные плиты перекрытий и покрытия;
- контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) основных несущих конструкций остова, включая: колонны; пилоны; диафрагмы и ядра жесткости; междуэтажные плиты перекрытий и покрытия;
- контроль распределения и интенсивности ветровой нагрузки.

Особые условия к проведению технического мониторинга

Технический мониторинг проводится с момента начала проведения строительно-монтажных работ в подземной части высотного здания до завершения строительства. Продолжается не менее двух лет после окончания строительства и ввода в эксплуатацию.

Нормативные, предельно допустимые, контролируемые и расчетные значения деформаций, нагрузок, усилий, напряжений в массиве грунта и конструктивных элементах высотных зданий, заносятся в сводную таблицу форма которой представлена в тексте ранее

В курсовой работе можно использовать метод разработанный ГУП МНИИТЭП совместно с Российской инженерной академией, ООО «Сервиспрогресс» и ЗАО «Стройтехноинновация». Ими разработана стационарная автоматизированная станция мониторинга деформационного состояния строительных конструкций высотных зданий с применением современных технологий. Станция и система обладает высокой надежностью, точностью и чувствительностью наблюдений в широком динамическом и частотном диапазонах.

Модульная структура станции позволять наращивать ее конфигурацию в зависимости от объекта и складывающейся ситуацией. Кроме того обладать повышенной живучестью в аварийных ситуациях за счет устойчивости к перегрузкам и наличия автономного питания. В станции используются следующие элементы (**рис. 8. 7-8.**):

- измерительные пункты (1), устанавливаемые на несущих конструкциях различных этажей высотного здания, с датчиками для регистрации ускорений колебания конструкций. Они располагаются на одной вертикальной прямой

вблизи центра масс здания. Возможна другая конфигурация в зависимости от конфигурации высотного здания. Датчики обеспечивают высокочувствительные измерения ускорений колебаний здания (от 10^{-5} м/с²) по трем ортогональным компонентам в полосе частот от 0.5 до 50 Гц, в динамическом диапазоне до 120 дБ при частоте дискретизации сигнала 400 Гц/канал. Интеллектуальные возможности датчиков предусматривают самотестирование и автокалибровку каналов измерения, аналого-цифрового преобразователя, питающих напряжений и оценку работоспособности датчика перед каждым сеансом регистрации; программное включение и выключение конкретных датчиков по требованию программы;

- измерительные пункты (2), устанавливаемые на несущих конструкциях нижнего подземного этажа высотного здания, с датчиками для регистрации кренов здания. Датчики обеспечивают измерения углов наклона в диапазоне $\pm 300''$ при точности измерения $\pm 3''$, имеют устройство автоматической температурной компенсации и устойчивы к механическим динамическим воздействиям. Средняя наработка на отказ — 10 000 часов;

- место централизованного сбора информации станции (3). Технические средства центра сбора информации содержат персональный компьютер и адаптер, обеспечивающий ввод цифровых данных датчиков в компьютер;

- система связи (4) между измерительными пунктами и местом централизованного сбора информации. Система связи обеспечивает передачу данных датчиков (общим числом до 32) в центр сбора по двухжильной коммуникационной линии в стандарте интерфейса RS-485.

Программные средства станции включают управляющую программу, пользовательский графический интерфейс и средства цифровой интерактивной обработки.

Управляющая программа обеспечивает работоспособность и функционирование станции в целом. В задачи управляющей программы входят:

- инициализация и подготовка технических средств;
- конфигурирование и тестирование системы;
- управление вводом цифровой информации в компьютер.

Пользовательский интерфейс программы обеспечивает удобное графическое представление многоканальной информации в режиме реального времени и обеспечен комфортной справочной системой и контекстной помощью. У оператора, проводящего обработку и анализ зарегистрированной информации, есть широкий выбор инструментов для документирования, архивирования и конвертации данных.

Цифровая обработка включается в себя два основных этапа:

- этап предварительной обработки зарегистрированных сигналов с целью улучшения соотношения сигнал/шум;
- и выделения полезной части сигнала, включающий в себя такие алгоритмы, как нормирование, деконволюция (восстановление истинной формы сигнала, несущего информацию об исследуемом физическом процессе), полосовая

фильтрация, и спектральный анализ и расчет основных динамических параметров зарегистрированных сигналов.

Можно использовать программу написана на языках WinAPI и C++ и объединяет 19 подпрограмм обработки и управления в пакет под общим названием ПРДП. Программное обеспечение разработано для WINDOWS 10;

Синхронная регистрация колебаний всех датчиков позволяет анализировать поведение конструкций здания при динамических воздействиях, включая ветровые нагрузки. Раздельная регистрация прохождения задаваемого последовательно на различных этажах здания широкополосного импульса в нескольких измерительных пунктах позволяет строить и анализировать передаточные функции тех частей здания, в которых расположены эти пункты.

На станции осуществляется также контроль общего наклона здания и его частей. В первые три года мониторинг изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций высотных зданий следует проводить 2 – 3 раза в год, а в последующие периоды эксплуатации — один раз в год.

В проекте должны быть сформулированы основные требования к мониторингу напряженно-деформационного состояния несущих конструкций.

1. Эксплуатационный мониторинг несущих конструкций многофункциональных высотных зданий и комплексов необходим для обеспечения безопасности функционирования таких зданий и является основой эксплуатационных работ, требующихся в многофункциональных высотных зданиях и комплексах.

2. В качестве элемента контроля и ранней диагностики деформационного состояния несущих конструкций высотного здания обязательна установка стационарной станции мониторинга деформационного состояния конструкций. Станция должна обеспечивать в автоматизированном режиме (при проведении периодических измерений) выявление изменения напряженно деформированного состояния конструкций и локализацию мест такого изменения в конструкциях, а также давать информацию о наклонах здания.

3. После выявления мест изменения напряженно-деформированного состояния конструкций осуществляется обследование этих частей высотного здания и по результатам обследования делаются выводы о деформационном состоянии конструкций, причинах изменения их напряженно-деформированного состояния и необходимости принятия каких либо мер по восстановлению или усилению конструкций.

4. В качестве дополнительного элемента контроля аварийных ситуаций несущих конструкций высотного здания, в основном связанных с динамическими перенапряжениями элементов несущих конструкций, целесообразна установка системы датчиков, настроенных на предельные

значения деформаций и наклонов, подающих необходимые сигналы в диспетчерскую высотного здания и систему города.

Нормы, являющиеся обязательными для всех форм собственности и реализующие предложенную методику мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструкций высотных зданий. Что позволят обеспечить диагностику изменения напряженно-деформированного состояния конструкций на ранней стадии, локализовать места такого изменения и экономически эффективно обследовать локализованные участки конструкций для выяснения причин изменений, определения степени опасности таких изменений и при необходимости принятия мер по устранению выявленных негативных тенденций.

Разработанная станция мониторинга деформационного состояния строительных конструкций зданий позволяет службам эксплуатации высотных зданий получать информацию: для анализа динамического поведения зданий как при динамических воздействиях со стороны грунта, так и при ветровых нагрузках; для контроля уровня поэтажных колебаний (отклонений от исходной вертикальной оси) объекта; для анализа кренов различных частей фундамента здания

8.2.4. Пример комплектации стационарной станция мониторинга высотного здания

Станция разработана для 56-ти этажного здания административно-делового комплекса. Она состоит из основных частей, функциональные характеристики, которых определяются их назначением - *аппаратурно-измерительной части и компьютерно-информационного центра*.

В аппаратурно-измерительную часть входят следующие компоненты:

- Одиннадцать цифровых трехкомпонентных, модульного исполнения акселерометров ЦТА-СМ, предназначенных для одновременной и раздельной записи ускорений колебаний несущих конструкций здания по трем взаимно ортогональным направлениям, размещенных в стационарных пунктах наблюдений.

- Трехкомпонентные акселерометры стационарно смонтированы и одинаково ориентированы на одной вертикальной оси в стене ЛЛУ ядра жесткости здания (рис. 8.7-8.).

На последнем верхнем уровне здания установлен цифровой трехкомпонентный сейсмометр ПРДП для определения амплитуды, периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний здания в трех ортогональных направлениях.

На фундаментной плите установлены шесть цифровых двухкомпонентных наклономеров ЦНД-1 для измерения наклонов основания здания. Четыре наклономера располагаются в крайних точках, на взаимно перпендикулярных осях здания, пятый и шестой – в центре (рис.8.9-10).

Все приборы соединены с компьютерно-информационным центром единым кабелем типа «витая пара» через разделительные коробки.

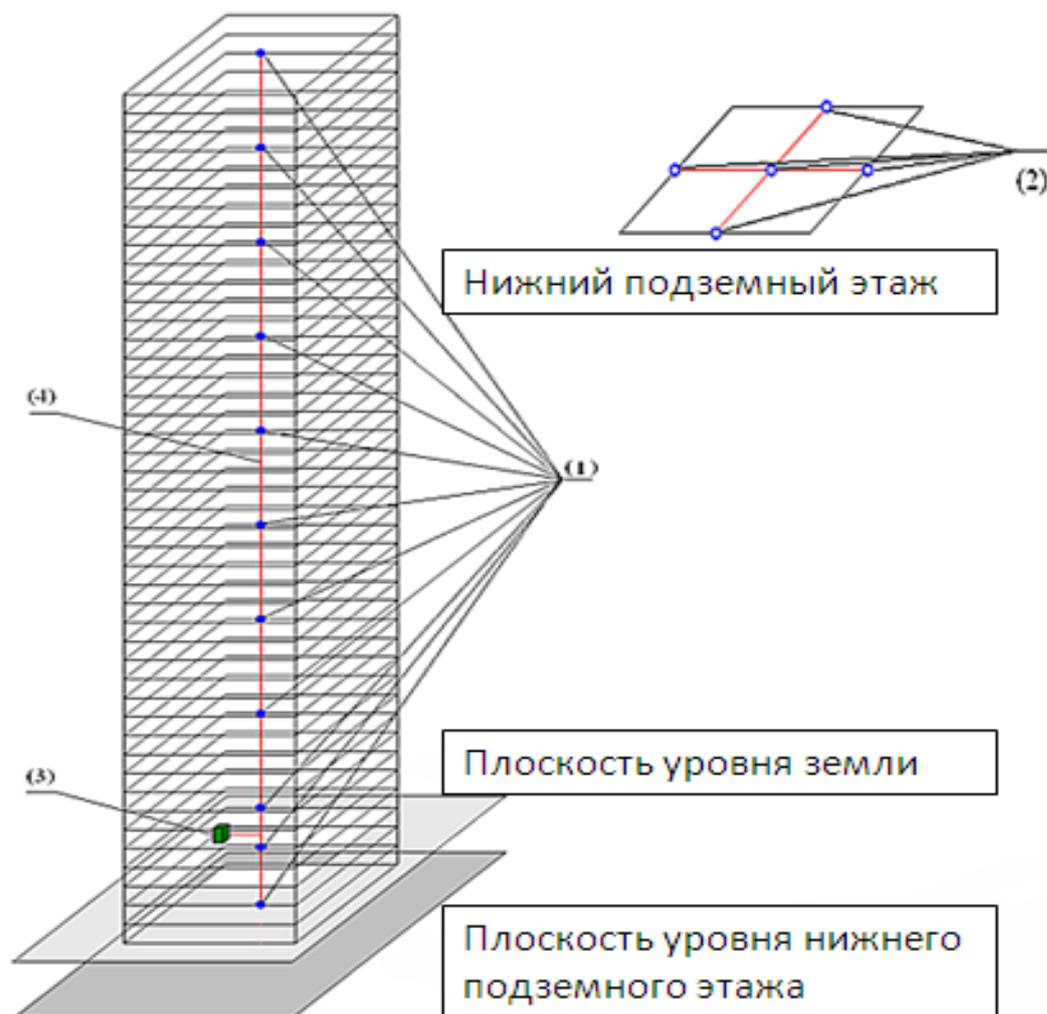


Рис.8.7. Пример схемы расположения измерительных пунктов станции для мониторинга деформационного состояния строительных конструкций зданий.

- – измерительный пункт, в котором производятся трехкомпонентные измерения ускорений;
- – измерительный пункт, в котором производятся измерения наклонов здания).

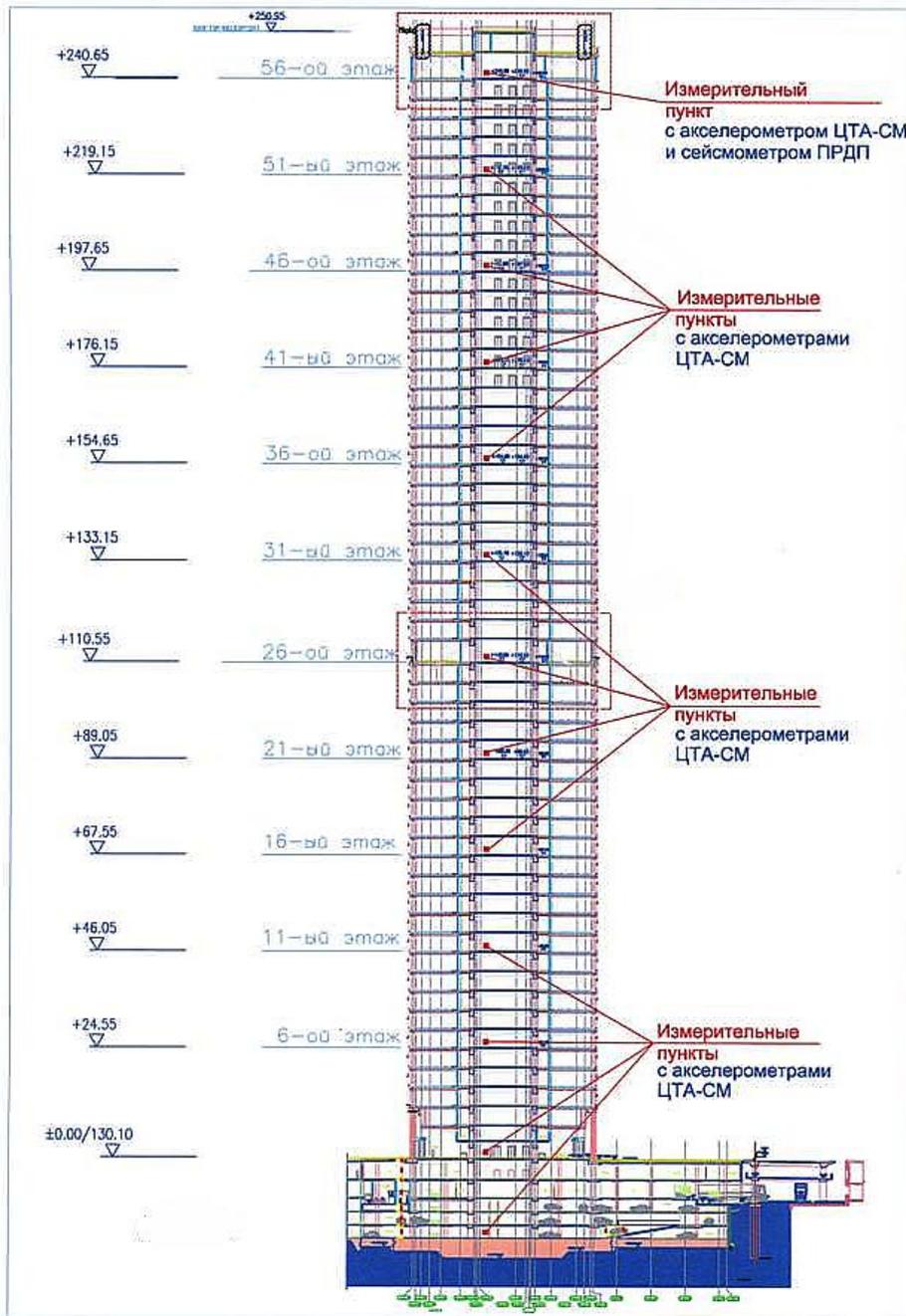


Рис 8.8. Пример размещения трехкомпонентных акселерометров стационарно смонтированных и одинаково ориентированных на одной вертикальной оси в стене ядра жесткости здания

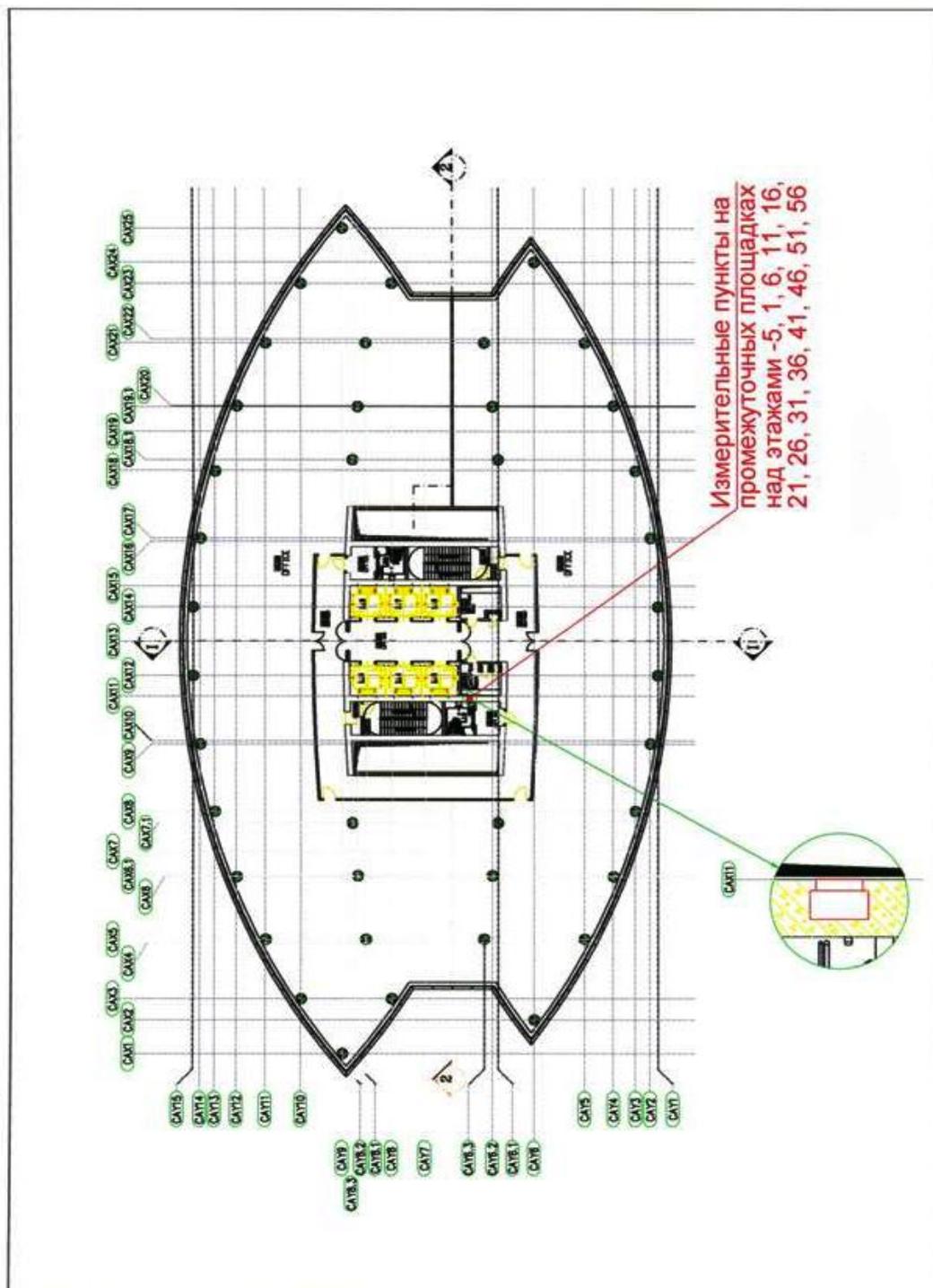


Рис 8.9. Пример размещения на плане этажа трехкомпонентных акселерометров стационарно смонтированных и одинаково ориентированных на одной вертикальной оси в стене ядра жесткости здания

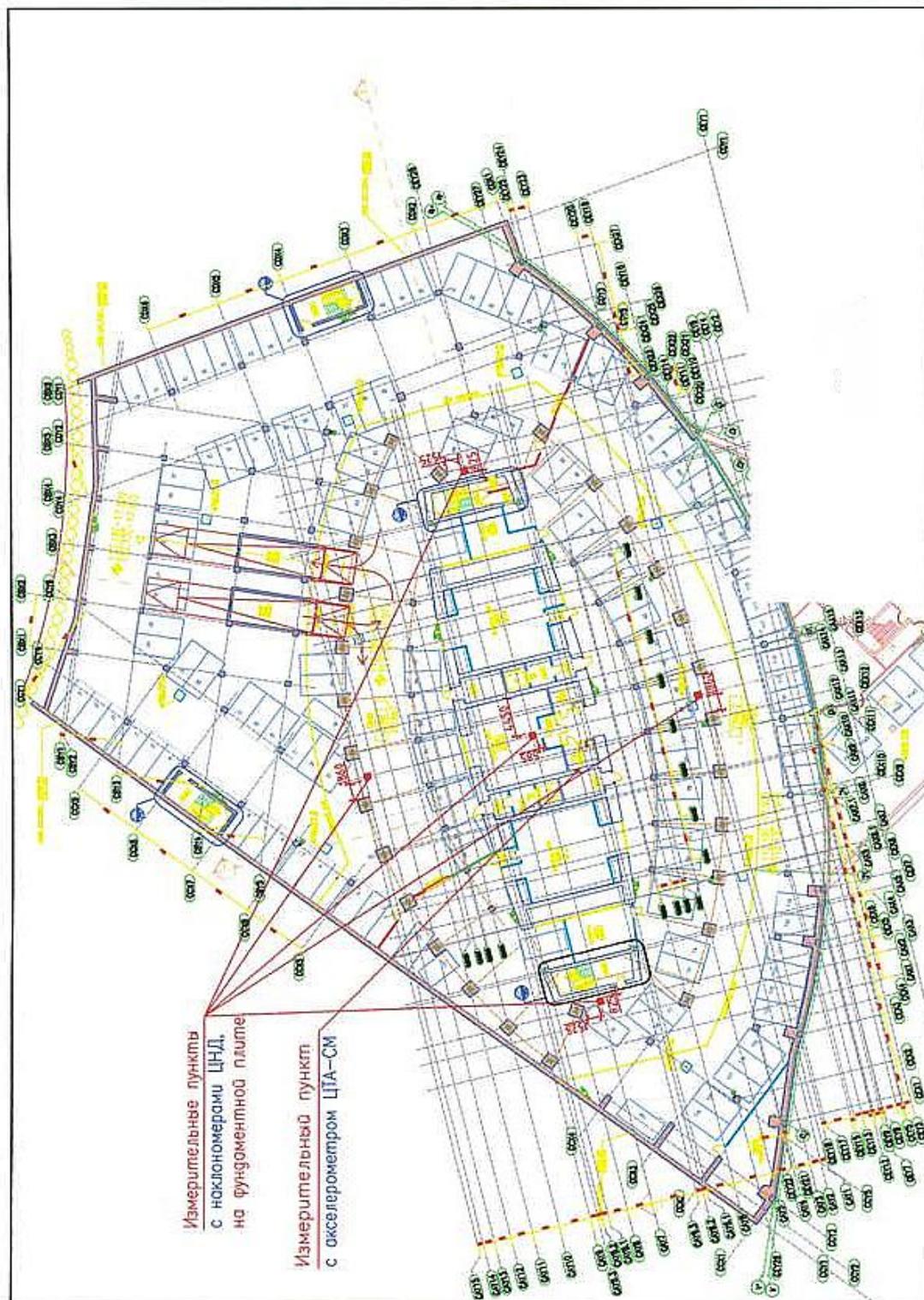


Рис.8.10. Пример расположения на фундаментной плите шести цифровых двухкомпонентных наклономеров ЦНД-1 для измерения наклонов основания здания. Четыре в крайних точках, пятый и шестой – в центре на взаимно перпендикулярных осях здания,

8.2.5. Общие замечания по комплектации и обслуживанию стационарной станция мониторинга высотного здания

Поскольку оборудование для автоматизированного мониторинга стоит намного дороже ручных деформационных марок, в большинстве случаев расстановка оборудования для мониторинга производится, *исходя не только из конструктивных, но и из экономических соображений*. Поэтому в первую очередь следует устанавливать оборудование для мониторинга *на тех конструкциях, которые подвержены наибольшему нагрузкам и/или являются уникальными*.

При проведении автоматизированного мониторинга необходимо учитывать условия эксплуатации датчиков. В случае возможности физического воздействия датчики *оборудуются необходимой защитой от повреждений*. В случае температурных воздействий следует размещать датчики температуры, показания которых вносятся в расчётную модель при интерпретации показаний датчиков. В случае высокой сейсмической активности в месте расположения объекта следует учитывать в расчётной модели данные о сейсмических колебаниях грунта. *Во многих случаях для уточнения причин изменения показаний датчиков рекомендуется установка метеорологической станции*.

Математическая модель, составленная заранее, вводится в программное обеспечение системы мониторинга. В рамках этой математической модели система передаёт на пульт диспетчера информацию о том, что показатели находятся в норме, или информацию о превышениях предельных значений показателей. *В последнем случае производится обследование конструкций, показывающих неблагоприятные тенденции*, и принимается решение о дальнейшей эксплуатации объекта и/или ремонте конструкций при необходимости.

Наибольшее распространение автоматизированные системы мониторинга получают на уникальных объектах (высотные здания выше 100м, современные спортивные стадионы и т.д.). Тем не менее, производится установка таких систем и на объекты, *не являющиеся уникальными, но представляющие особый интерес для их владельцев*.

Основной целью установки автоматизированной системы мониторинга несущих конструкций являются получение подробной *информации о напряжённно-деформированном состоянии несущих конструкций* объекта и выявление конструкций с негативной динамикой. Кроме того, для уникальных объектов данные системы мониторинга могут представлять *теоретическую ценность для лучшего понимания поведения таких объектов при эксплуатации*.

9. Пример разработки система мониторинга технического состояния конструкций «GEOTEK SHM»

9.1. Общие сведения

ООО «НПП «Геотек» разрабатывает проектные решения и методики статического, динамического и сейсмического мониторинга состояния строительных конструкций зданий и сооружений в период строительства и эксплуатации

Система Geotek-SHM (далее система) является программно-техническим средством, функционирующим непосредственно на объектах и осуществляющим мониторинг в рамках автоматизированного контроля изменения состояния инженерно-технических конструкций (конструктивных элементов) объекта. Система обеспечивает передачу информации о состоянии элементов конструкции объекта по каналам связи в дежурную диспетчерскую службу этого объекта. Далее следует её обработка с *целью оценки, предвидения* и ликвидации последствий дестабилизирующих факторов в реальном времени.

Система обеспечивает прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций путем *контроля за параметрами состояния строительных конструкций (конструктивных элементов)* объекта и определения отклонений их текущих значений от нормативных.

9.2. Требования к системе, персоналу, оператору, инженеру

Система функционирует на компьютерах с типом процессора x86 с тактовой частотой не менее 1.6 ГГц, требуется памяти не менее 1024 МБ, операционная система Microsoft Windows 10, свободного места на диске не менее 100 Гб. Для работы также потребуется компонент: Microsoft .Net Framework 3.5. Данные пакеты включены в дистрибутив программного обеспечения Geotek SHM и устанавливаются во время установки если необходимо.

Требования к персоналу

Для обслуживания программного обеспечения на этапе эксплуатации требуется минимум одна штатная единица персонала - оператор. Оператор должен постоянно находиться у головного компьютера системы Geotek SHM и принимать выдаваемые сведения и сигналы. Для анализа выдаваемых сведений системы Geotek SHM требуется инженер.

Требования к оператору: оператор должен обладать практическими навыками работы с графическим пользовательским интерфейсом операционной системы Windows, знать принципы обслуживания системы Geotek SHM;

Требования к инженеру: инженер должен иметь высшее техническое образование по **профилю строительных конструкций**, должен иметь навыки по обследованию строительных конструкций, знать принципы работы системы Geotek SHM, уметь интерпретировать выдаваемые системой данные о наблюдаемом объекте;

9.3. Функции системы

Система Geotek-SHM состоит из набора модулей, исполняющихся в рамках одного программного процесса с решением следующих задач:

- Прием информации с датчиков;
- Анализ состояния элементов конструкций в режиме реального времени;
- Протоколирование данных;
- Оповещение об опасности возникновения дестабилизирующих факторов;
- Предоставление пользовательского интерфейса оператору для наблюдения и оценки состояния наблюдаемого инженерного сооружения;
- Предоставление пользовательского интерфейса администратору системы для обслуживания программного обеспечения;

9.5. Описание системы

Использование программного обеспечения системы Geotek SHM осуществляется **в два этапа - конфигурирование и эксплуатация.**

9.5.1. Требования системы Geotek SUM на этапе конфигурирования

Этап конфигурирования подразумевает выполнение действий по настройке и подготовке системы к ее эксплуатации. Подготовка к эксплуатации системы начинается после удовлетворения следующих условий:

1. Произведен анализ объекта для наблюдения, по результатам которого:
 - а. Утвержден состав наблюдаемых системой элементов конструкций;
 - б. Выявлены показания измеряемых параметров на момент пуска системы;
 - в. Выявлены правила определения состояния элементов конструкций;
2. Утвержден состав датчиков системы Geotek SHM. ее конфигурация;
3. Утверждены места расположения датчиков контроля на элементах конструкций, а также требования к монтажу;

Программное обеспечение системы Geotek SHM состоит из модулей электроники, модуля логического взаимодействия, ядра системы и набора динамически подключаемых модулей. Конфигурация создается последовательно от модуля электроники (ЭПА) к ядру и ее подключаемым модулям.

Программно-аппаратные комплексы поставляются **с уже готовой конфигурацией GeotekSHM.**

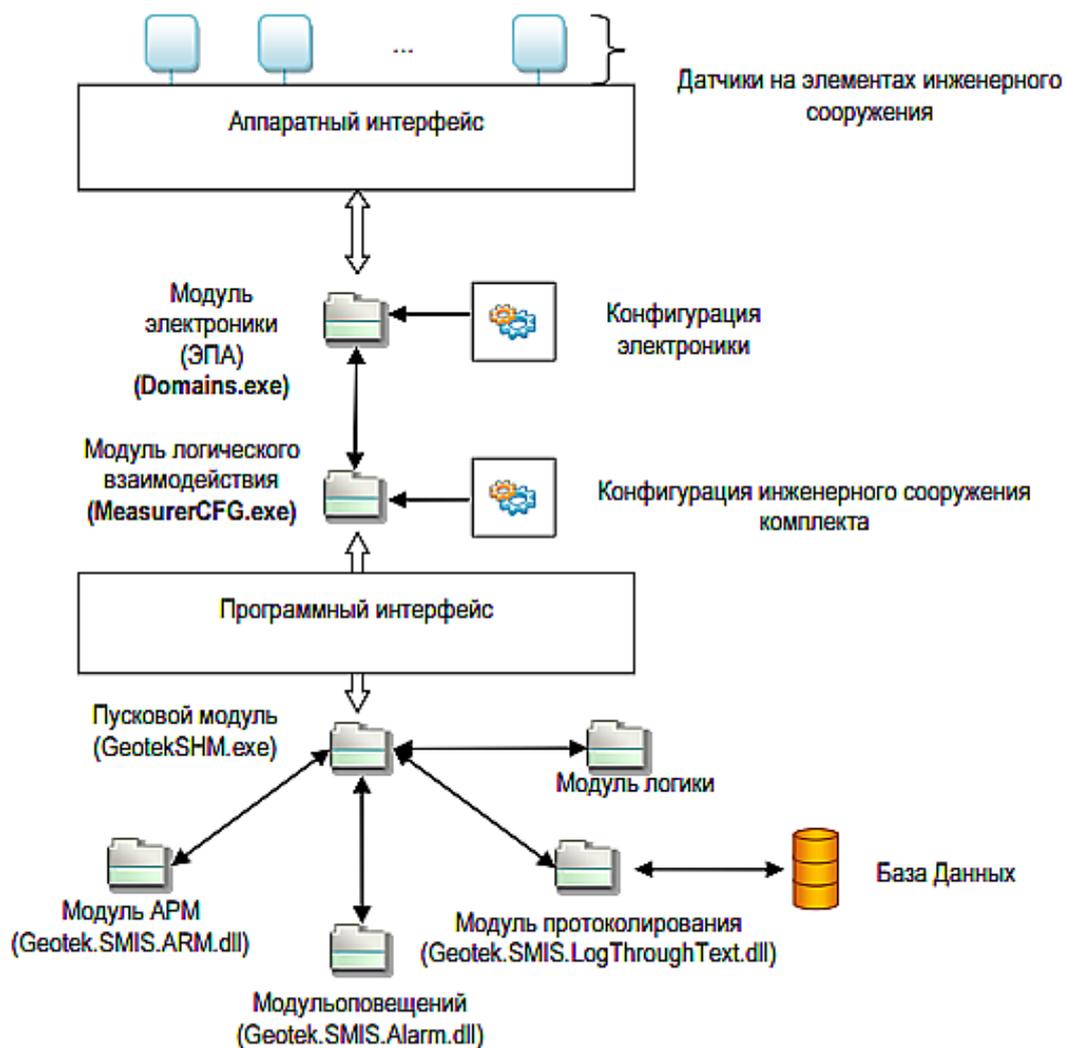


Рис. 9.1. Модули системы GEOTEK SHM

В ходе конфигурирования производятся следующие действия:

1. Создается конфигурация блоков электроники согласно разработанной спецификации;
2. После завершения монтажных работ системы выполняется проверка электроники на соответствие спецификации, производятся мероприятия по настройке блоков электроники, в ходе которых обновляются заводские параметры в соответствии с новыми условиями эксплуатации;
3. Создается дерево наблюдаемых системой элементов конструкций, определяются и настраиваются измерительные каналы системы, создаются измеряемые параметры элементов конструкций, заносятся начальные показания измеряемых параметров, заносятся данные, необходимые для измерения параметров;

4. Создаются графические бланки элементов конструкций, планов здания, для отображения состояния элементов конструкций здания, производится их соответствие тем элементам конструкций, которые обозначены в программе;
5. Создается подключаемый программный модуль логики, в котором содержатся прикладные алгоритмы расчета состояний элементов конструкции. Задействуются графические компоненты для визуализации работы алгоритмов;
6. Определяются на графических бланках элементов конструкций и планов здания места расположения элементов конструкций, датчиков, отображаются особенности монтажа.

На рис.9.2. отображена схема информационных потоков в готовой к эксплуатации системе:

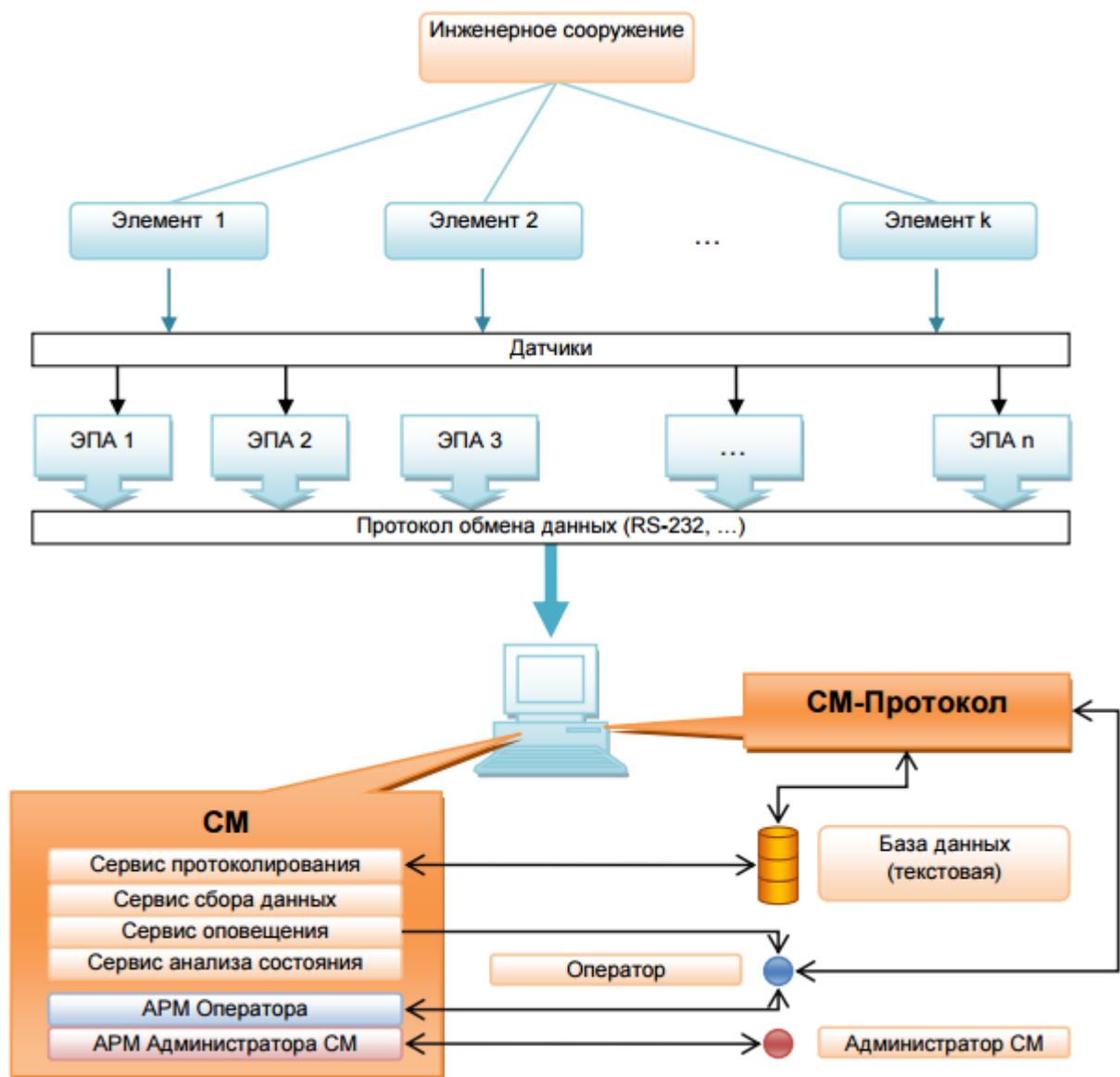


Рис. 9.2. Организация информационных потоков

9.5.2. Элементы конструкций

В системе инженерное сооружение представлено в виде иерархической структуры элементов конструкций, где каждый элемент конструкции может быть *простым или композитным*. Композитным является тот элемент, который включает в себя набор других элементов конструкции, из которых он состоит. При этом элементы, из которых он состоит, также могут быть и простыми, и композитными. Для удобства соотношения реальных элементов с их отображениями в компьютерной модели иерархия элементов может быть сгруппирована по каким-либо признакам, например по осям или порядковому номеру. При этом, принимается допущение, что признак является композитным элементом инженерного сооружения. Каждый элемент сооружения характеризуется состоянием. Для простых элементов конструкций, отображаемых системой, состояние вычисляется в зависимости от соотношения вложенных в конфигурацию нормативных значений (например, таких как напряжения, деформации и углы наклона) с их значениями, измеряемыми датчиками. У композитных элементов за значение состояния принимается наихудшее из значений состояний его подэлементов.

9.5.3. Параметр состояния

Параметр состояния является программной сущностью, обеспечивающей взаимодействие Системы с измеряемой физической величиной элемента инженерного сооружения. Параметры состояния обеспечивают систему необходимой информацией для вычисления состояния элементов конструкций. В их состав входят алгоритм преобразования входных данных с АЦП в реальные физические величины, которые измеряют датчики, а также ряд необходимых для этого переменных. Каждый параметр состояния имеет уникальный алгоритм преобразования данных. Во время преобразования сигнала алгоритм использует данные из градуировки датчика для получения физических показаний датчика, применяет смещение сигнала и, в случае косвенных измерений, сигнал преобразовывается в иную физическую величину согласно заложенному в алгоритм закону соотношения величин.

Параметры состояния подразделяются на типы в зависимости от характера измерения. Тип и переменные параметра назначаются на этапе конфигурирования. Параметры состояния могут быть *простыми и составными*. К простым параметрам состояния относятся те параметры, которые обеспечивают взаимодействие с физической величиной на базе одного измерительного канала (как правило, один датчик). К составным параметрам состояния относятся параметры, которые обеспечивают взаимодействие с физической величиной на базе заданного набора других параметров состояния (например, в случае вычисления прогибов из

геометрических соотношений с перемещениями или угловыми отклонениями элементов конструкции).

Параметры состояния непосредственно связаны с датчиками и возвращают в качестве значений наблюдаемую физическую величину, прямо или косвенно измеряемую датчиком.

Инициализация параметров состояния

Перед тем как параметр состояния начнет выдавать результаты измерений он должен пройти инициализацию. В процессе инициализации определяется значение, которое параметр должен возвращать. Для того чтобы параметр выдавал на момент окончания инициализации необходимое значение производится его выставление.

Выставление значения параметра состояния

В момент первого пуска системы, как и в момент восстановления системы после планового или аварийного останова требуется выставить значения параметров состояния. Выставление датчиков подразделяется на режимы: первичное, повторный запуск, ручное.

Первичное выставление параметра осуществляется в момент первого запуска приложения. В этот момент за текущее показание датчика принимается базовое значение, заложенное в конфигурацию. Обычно, базовое значение показания определяется из расчета значения величины, измеряемой датчиком в месте его крепления на момент монтажа.

Выставление при повторном запуске системы выполняется аналогично первичному выставлению, за исключением того, что производится попытка восстановить значение параметра из базы данных по последней записи.

Ручное выставление выполняется в случае, если ни один из перечисленных выше способов не удовлетворяет. Решение о ручном выставлении принимает инженер, обслуживающий систему Geotek SHM.

9.5.4. Состояния

Состояние является величиной, характеризующей (состояние) здоровье элементов конструкций. Состояния элементов конструкций бывают следующими:

1. Ожидание инициализации;
2. Работает (включает в себя состояния: нормальное, опасное, критическое);
3. Ошибка;
4. Элемент исключенный из наблюдения;

На рис. 9.3 показаны направления изменения состояний элементов конструкций.

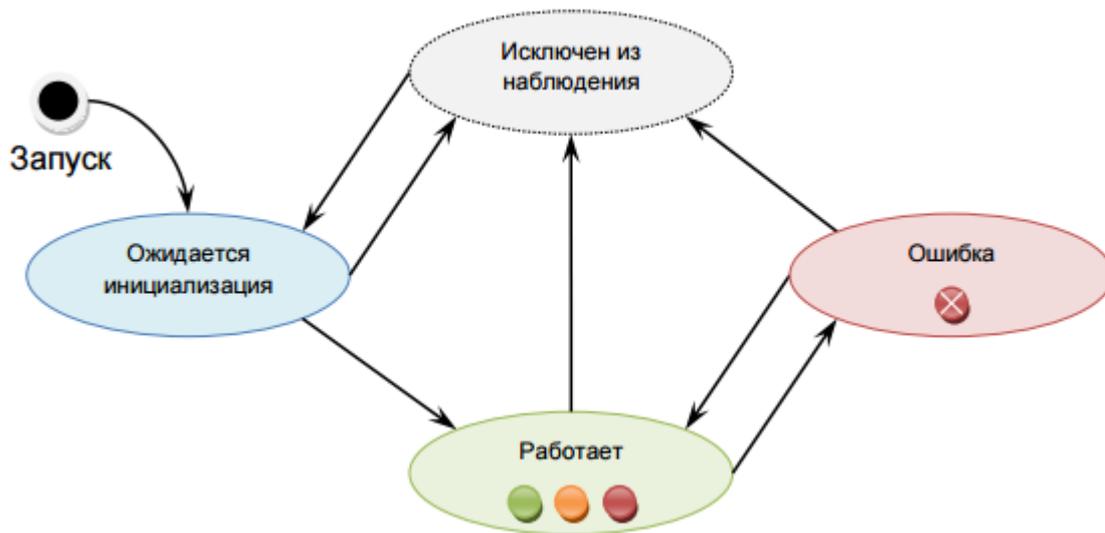


Рисунок 9.3. Состояния элементов конструкций и порядок их изменения.

На рис.9.4. отражена последовательность действий, применяемых при вычислении состояний элементов конструкций в случае применения типовых алгоритмов определения состояния:

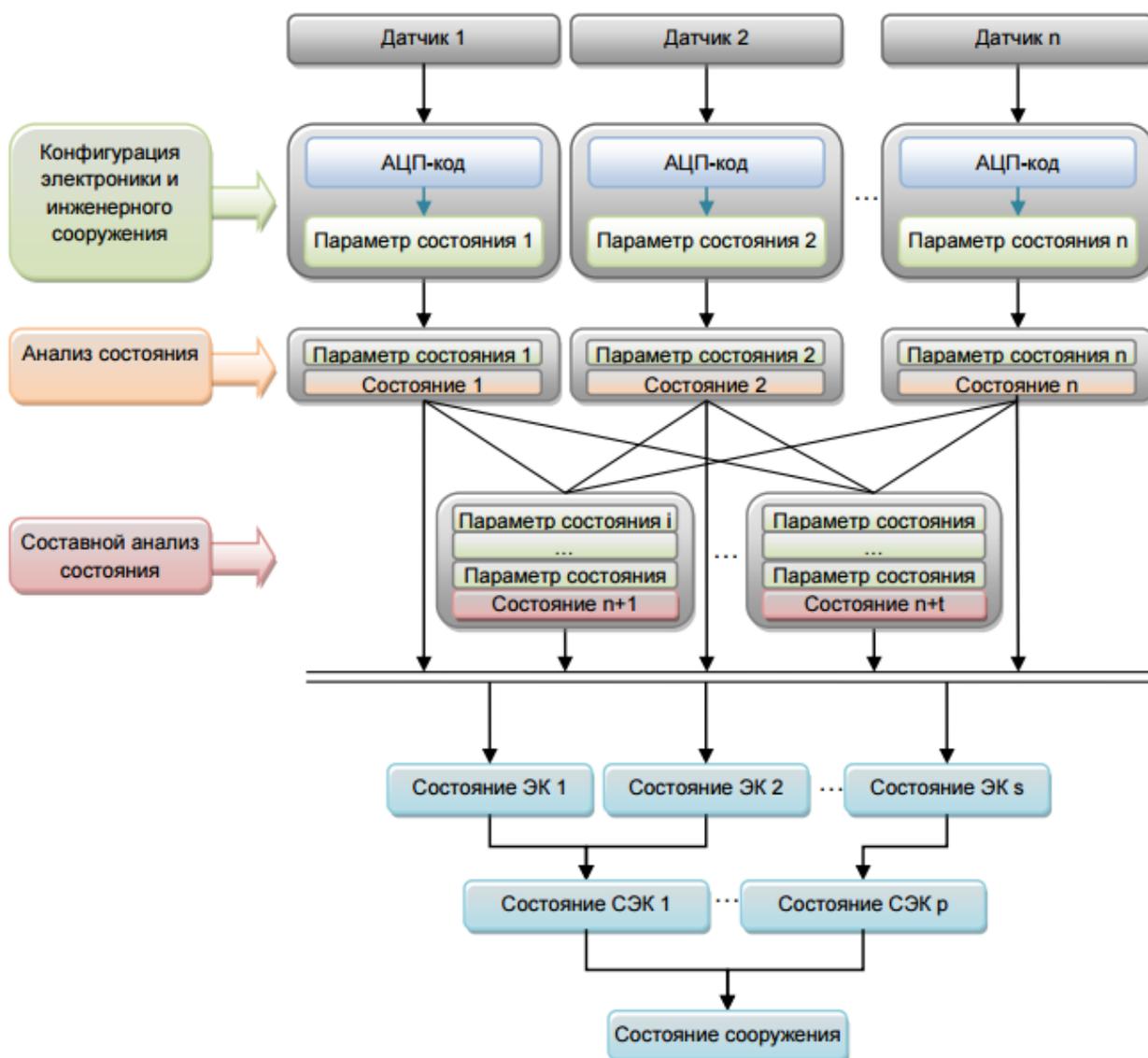


Рис.9.4. Порядок определения состояния инженерного сооружения для случая применения типового алгоритма. Обозначения: ЭК - элемент конструкции; СЭК - составной элемент конструкции.

На рисунке видно как информация, получаемая с датчиков, поступает в соответствующие параметры состояния. Также из конфигурации извлекаются данные требуемые для вычислений внутри параметров состояния. Далее производится анализ состояния у параметров. После чего становится возможным произвести составной анализ состояния. Составной анализ применяется для группы параметров состояния и заключается в нахождении *наиболее опасного состояния из этой группы*. В заключении состояния назначаются элементам конструкции.

Состояние «Ожидание инициализации»

После запуска «системы состояния элементов конструкций» принимают начальное состояние - «Ожидание инициализации». В данном состоянии находятся те элементы конструкций, которые только что были

включены в мониторинг, и их состояния не могут быть проанализированы в силу того, что ряд параметров состояния не прошли еще процесс инициализации.

Выход из состояния осуществляет программный агент инициализации параметров состояний (находится в главном модуле). Агент последовательно пытается перевести все параметры из этого состояния в состояние «Работает» производя для этого попытку инициализировать их. Если инициализация каких-то параметров не удастся, то попытка откладывается на следующий шаг. Также из этого состояния имеется возможность перевести параметр состояния пользователю вручную.

Состояние «Работает»

Состояние «Работает» свидетельствует о том, что мониторинг элементов конструкций производится успешно. Данное состояние состоит из трех подсостояний: «Нормальное», «Опасное», «Критическое».

Состояние «Ошибка»

Данное состояние необходимо для того, чтобы оператор смог обратить внимание на то, что в процессе мониторинга элемента конструкции возникают технические неполадки. По состоянию «Ошибка» идентифицируются те элементы конструкции, в которых подозреваются технические неполадки, среди которых могут быть разрыв цепи кабельной системы, сбой питания блока и выход из строя электроники.

Следует заметить, что система способна обнаружить самостоятельно лишь *часть возможных видов неполадок*, некоторые виды неполадок, возможно, идентифицировать только самостоятельно. Идентификация устранения неполадок приводится в разделе «Идентификация неполадок и порядок их устранения».

Состояние «Исключен из наблюдения»

Параметры состояния во время технического обслуживания, ремонта или замены датчиков или блоков электроники следует исключать из наблюдения для того, чтобы хаотичные данные, возвращаемые в данный период параметрами состояний, Системой не фиксировались. Это *предотвратит появление ложных тревог* и не соответствующих реальности данных в протоколе. Исключение из наблюдения производится оператором вручную.

Для исключения из наблюдения элемента конструкции в главном окне приложения Geotek SHM выделяется элемент конструкции в дереве и вызывается его контекстное меню выбирается пункт «Отключить анализ состояния элемента». Для того чтобы вернуть элемент конструкции из состояния «Исключен из наблюдения» вызывается контекстное меню

элемента конструкции и выбирается пункт «Включить анализ состояния элемента».

Приоритеты состояний

В Системе состояния классифицируются по приоритетам. Приоритеты необходимы в случаях, когда состояние одной единицы является результатом группировки набора состояний других единиц (см. состояние составного элемента конструкции). В таком случае, за состояние будет приниматься то состояние из этого набора, у которого имеется наивысший приоритет. Приоритеты состояний выстроены в следующем порядке (от высшего к низшему):

1. Ошибка;
2. Работает (включает в себя состояния: нормальное, опасное, критическое);
3. Ожидание инициализации;
4. Исключен из наблюдения;

Используя имеющуюся конфигурацию электроники, Система принимает информацию с датчиков. Параметры состояния вычисляются согласно алгоритму, заложенному в конфигурации инженерного сооружения на основе поступаемых данных с датчиков. Алгоритмы при этом могут быть типовыми или прикладными. Типовой алгоритм применяет элементу конструкции состояние как наиболее опасное состояние из состояний его параметров состояния.

Алгоритмы определения состояния

Для определения состояний элементов конструкции в системе Geotek SHM используются алгоритмы определения состояния элементов конструкций. Алгоритмы *подразделяются на типовые и прикладные*. Типовой алгоритм является для каждого элемента конструкции алгоритмом по умолчанию и используются в системе если для элемента конструкции не задан прикладной алгоритм. Для любого элемента конструкции системы может быть применен типовой алгоритм. Прикладной алгоритм применяется элементу конструкции в *процессе конфигурирования индивидуально*. Прикладные алгоритмы основываются на принципах работы конкретных видов элементов конструкций. Для элементов конструкции прикладные алгоритмы назначаются в соответствии с типом элемента конструкции.

Типовые алгоритмы

Как было отмечено, программа по-разному определяет состояние простых и составных элементов конструкции. Для простых элементов конструкции состояние определяется на основе параметров состояния, принадлежащих данному элементу конструкции. Состояние композитных элементов

конструкций определяется как наиболее опасное состояние из дочерних элементов конструкций.

Состояние простого элемента конструкции

Состояние простого элемента (рис.9.5.) остояние является функцией от параметра состояния и нормативных значений данного параметра. Для определения состояния у параметра состояния используются следующие свойства:

1. Измеренное значение;
2. Флаг ошибки;
3. Флаг о необходимости инициализации;
4. Флаг об исключении из мониторинга;
5. Нормативное значение.

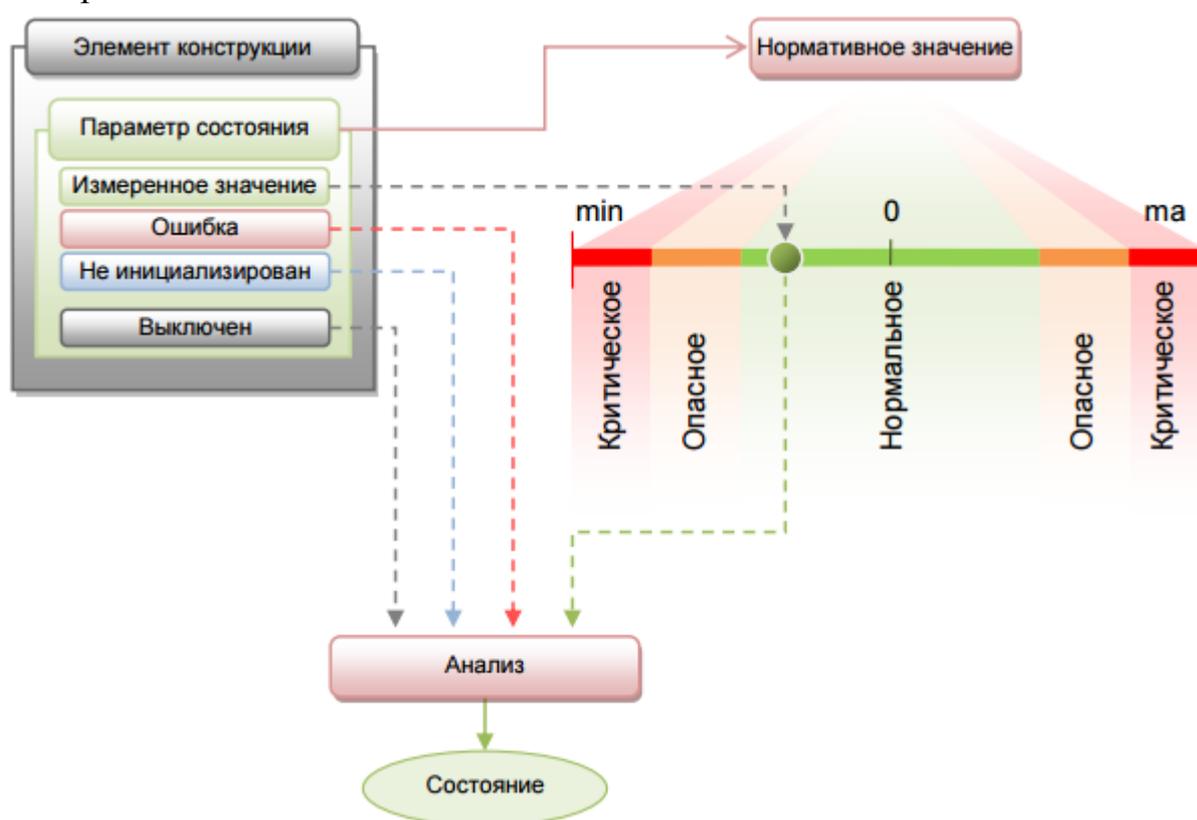


Рис.9.5. Порядок определения состояния простого элемента конструкции на основе одного параметра состояния.

Состояние будет иметь значение «Работает» только в том случае, если у параметра все флаги будут возвращать отрицательные значения. При этом для каждого флага предусмотрено состояние. Если несколько флагов возвращают положительное значение, то состояние выбирается исходя из приоритетов флагов. Наивысший приоритет у флага об исключении из мониторинга, затем у флага о необходимости инициализации и, наконец, низший приоритет у флага об ошибке.

Если все флаги возвращают отрицание, то состояние вычисляется исходя из измеренных и нормативных значений. Как показано на рисунке 3.5, совокупность нормативных значений представляет собой шкалу от минимального до максимального значения. При этом шкала поделена на секции, в которых измеренное значение считается нормальным, опасным или критическим. Исходя из того, в какой секции находится измеренное значение, выбирается состояние элемента конструкции.

В случае, когда у элемента конструкции имеется несколько параметров состояния, элемент конструкции принимает состояние с наибольшим приоритетом.

Состояние составного элемента конструкции

Для определения состояния составного элемента конструкции (ЭК) используется такой же принцип определения состояния, что и для простого, но с тем отличием, что состояние формируется на основе не параметров состояния, а на основе элементов конструкции, согласно приоритетам. Порядок определения состояния составного элемента конструкции описан на рис.3.6.

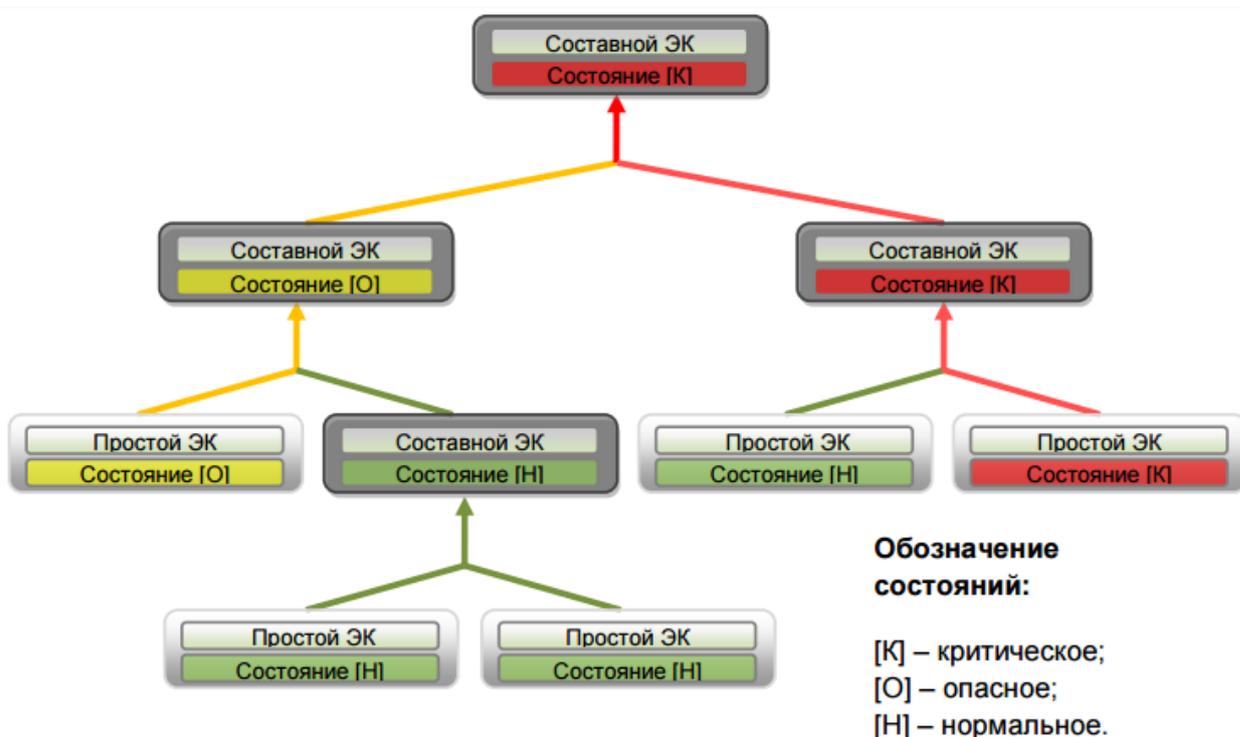


Рис. 9.6. Порядок определения состояния составного элемента конструкции.

Прикладные алгоритмы

В процессе конфигурирования системы имеется возможность задать прикладные алгоритмы определения состояний для элементов конструкций. В данном случае для каждого элемента конструкции используется

собственный алгоритм определения состояния. Закладывание таких алгоритмов позволяет учитывать такие факторы как различные варианты нагрузений, чем может быть снижена вероятность прогнозирования ошибочных состояний.

Прикладные алгоритмы создаются на этапе конфигурирования системы Geotek SHM на языке программирования C#. Такие алгоритмы применяются при сложных видах оценки состояния элементов конструкции. В конфигурации также хранятся необходимые данные для выполнения вычисления параметров состояния, а также для оценки самого состояния.

9.5.5. Состав модулей системы

Главный модуль

Главный модуль предназначен для пуска системы и является центром взаимодействия динамически подключаемых модулей. Во время запуска системы модуль производит загрузку и запуск функций динамически подключаемых модулей. Главный модуль имеет пользовательское окно, в котором можно просмотреть список загруженных модулей, произвести их настройку, а также в окне предусмотрено выполнение определенных команд модулей.

Агент инициализации

Агент инициализации обеспечивает ввод параметров измерения в процесс мониторинга. Инициализация происходит следующим образом - сначала производится ввод в работу ЭПА (активируется процесс опроса платы, если он еще не был активирован до этого), после этого производится диагностика измерительного канала, затем начинается прием первых показаний с датчика. В то время как становится возможным принять первые данные с измерительного канала, начинается процесс выставления текущего значения параметра измерения. Процесс выставления представляет собой операцию сопоставления текущих показаний датчика и предполагаемого на момент инициализации значения величины, измеряемой датчиком. После инициализации возвращаемая величина с датчика будет соответствовать предполагаемому на момент инициализации значению, которое на момент первого запуска соответствует расчетной величине, полученной в результате аналитического или численного расчета НДС конструкции, а в момент периодического запуска данное значение восстанавливается из протокола.

Модуль протоколирования

Данный модуль предназначен для записи показаний параметров измерений в базе данных. Также в нее вносятся системные сообщения, состояния и ошибки измерения. По протоколу в дальнейшем может быть проведен анализ изменения состояния конструкции.

Протокол имеет формат текстовых файлов. Данный формат является открытым, поэтому все запротоколированные данные могут быть обработаны в любых сторонних приложениях.

Модуль оповещения

Модуль оповещения обеспечивает систему возможностью сигнализации о возникновении опасного, критического состояния, либо об обнаружении ошибки. Сигнализация происходит путем вывода диалогового окна, в котором располагается информация об элементе конструкции, в котором обнаружена ситуация, требующая внимания, а также подается соответствующее звуковое сопровождение.

Благодаря модулю оповещения в процессе работы системы в моменты возникновения требующих внимания оператора событий система производит соответствующее звуковое предупреждение. Звуковое сопровождение периодически повторяется до тех пор, пока не произойдет устранение причины.

Автоматизированное рабочее место оператора

В главном окне приложения Geotek-SHM имеется пункт «Автоматизированное рабочее место». В системе элементы конструкций обозначены в соответствии с поставляемой исполнительной документацией. Цветовая индикация обозначает состояние элемента конструкции.

Легенда цветовой индикации элементов конструкции, отображаемых в дереве:

- Нормальное состояние
- Опасное состояние
- Критическое состояние
- Исключен из мониторинга
- Состояние ошибки
- Состояние инициализации

После выделения элемента конструкции отображается список измеряемых параметров. В списке отображены измеряемые параметры тех элементов конструкции, которые вложены в выделенный элемент конструкции. Параметры элемента располагаются списком, разбитым на группы. Группа обозначает элемент конструкции, к которому параметр принадлежит непосредственно. В списке отображены название параметра измерения, его тип его значение и размерность.

Под деревом элементов конструкций расположена карта состояний элементов конструкций (рис. 9.7).

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102

Рисунок 9.7. Возможный вариант карты состояний элементов конструкций

На данной карте отображены квадратики, каждый из которых цветом обозначает состояние элемента конструкции. Имеется индикатор, который в виде «радуги» от нормального состояния к критическому.

Карта состояния служит для удобства восприятия изменения состояния. Во время запуска системы, задается размер для карты таким, чтобы были видны все квадратики. В случае изменения системы по карте можно определить наличие элементов конструкций, принявших состояние, отличное от нормального. В случае, когда квадратик поменял цвет легко можно определить элемент конструкции, принявший новое состояние. Определить показания измеряемых параметров выделенного элемента конструкции можно в списке параметров измерения.

Для наглядного отображения сведений об элементах конструкций система оснащена средствами визуального просмотра элементов конструкций. *Во время конфигурирования система может быть настроена как на трехмерную визуализацию состояния наблюдаемого объекта, так и на плановую.*

В случае если в конфигурации задана трехмерная модель наблюдаемого объекта на вкладке визуализация будет расположен элемент управления, отображающий трехмерную геометрическую модель наблюдаемого сооружения. На данной геометрической модели имеется возможность визуально оценить вид наблюдаемой конструкции и состояние его элементов. Состояния элементов конструкции на графической модели обозначены цветом. При обзоре трехмерной геометрической модели имеется возможность изменить угол обзора, приблизить и отдалить, повернуть модель относительно камеры обзора. Для этого используется манипулятор мышь. При плановом отображении наблюдаемого объекта на вкладке отображаются графические бланки планов здания, на которых помечены

визуальными регионами места расположения наблюдаемых элементов конструкций (датчики).

Для каждого элемента конструкции предусмотрена своя графическая карточка, по которой имеется возможность определить геометрические параметры элемента конструкции, а также способы и места закрепления датчиков. В списке карточки названы в соответствии с обозначениями элементов конструкций.

Расположение датчиков на графических карточках также заданы визуальными областями, которые тоже можно выделять. При выделении графических областей происходит перемещение указателей выделения в дереве элементов конструкций и в списке параметров измерения.

На вкладке «Элемент конструкции» располагается набор компонент для просмотра параметров наблюдаемых элементов конструкций.

Оператор может производить на вкладке следующие действия:

- Вводить/выводить параметры измерения из наблюдения;
- Просматривать информацию, заложенную в конфигурацию для вычисления значений параметров системы;

Передача протоколов в обслуживающую компанию

Передача протоколов осуществляется путем пересылки по электронной почте содержимого протоколов. Для осуществления передачи протоколов следует создать архивный файл протоколов и прикрепить его к письму, отправляемому на электронный почтовый адрес обслуживающей организации.

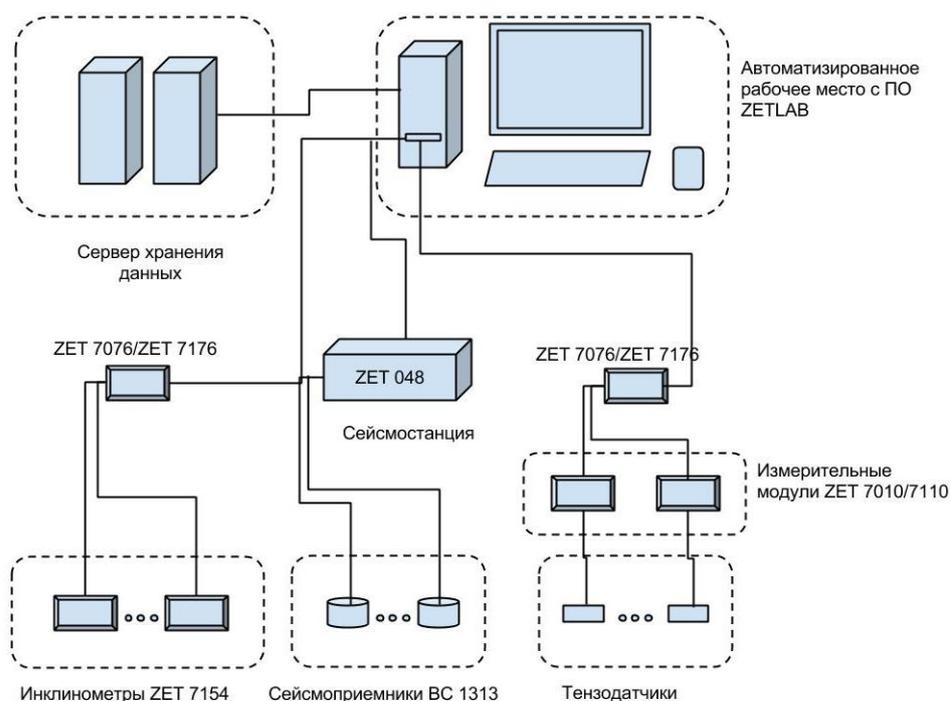
10. Система мониторинга состояния объекта строительства ZETlab

Общие сведения. Эти системы ZETlab могут быть самостоятельными или объединяться в общую систему, имеющую единый пункт управления и отображения результатов. Применяемое оборудование может быть универсальным и использоваться для определения различных параметров, или быть специализированным. В первом случае от инспектора, проводящего обследования, потребуется перенастройка оборудования, во втором — использование большего числа приборов. В зависимости от масштабов и состояния здания могут потребоваться портативные многофункциональные приборы либо измерительные системы. Для мониторинга состояния уникального здания может строиться система контроля и управления различными параметрами на базе интеллектуальных датчиков и управляющих устройств.

Как работает СМИК

Мониторинг конструкций проводится по таким параметрам как: напряженно-деформированное состояние, уклоны и изгибы конструктивных элементов, ускорения и вибрации, линейные перемещения.

Мониторинг сложных инженерных сооружений начинается с определения параметров, которые зависят от части сооружения, каким нагрузкам подвергаются те или иные элементы. Тем самым СМИК позволит фиксировать любое отклонение от расчетных параметров в режиме реального времени. Далее объект оснащается системой мониторинга с возможностью сбора данных, диспетчеризации и наблюдения. Основной функцией СМИК является обработка данных и передачи предупреждающих сигналов оператору или же отправки сигналов тревоги в специальные службы.



10.1. Технические средства мониторинг крена здания и смещения точек элементов

Высотные здания наиболее интенсивно воздействуют на грунтовый массив в их основании. При возникновении неравномерной осадки грунтов основания или нарушении в работе конструкции, будут наблюдаться изменения пространственных характеристик здания: отклонение от вертикали, смещение конструктивных элементов и т.д.

Подсистема СМИК «Мониторинг крена здания и смещения элементов» предназначена для своевременного выявления крена несущих элементов объектов, который может повлечь за собой перевод объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

Подсистема построена на базе цифровых датчиков ZET 7X10 DT, ZET 7X54 и ZET 7140-S и обеспечивает контроль за наклоном, а также за смещением элементов конструкции относительно друг друга.

Аппаратная часть подсистемы может быть выполнена в двух возможных вариантах проводного интерфейса:

-стандарта RS-485 с поддержкой открытого протокола Modbus RTU, что позволит без труда интегрировать подсистему в существующую стороннюю систему мониторинга на шине Modbus;

-стандарта CAN с закрытым уникальным протоколом, разработанным ZETLAB; преимуществом использования данного стандарта является возможность осуществления бездемонтажной проверки датчиков в составе системы, скорость передачи данных и непрерывная проверка качества данных.

Имеется поддержка беспроводных интерфейсов связи по протоколам:

-LoRaWAN — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей по беспроводному протоколу LoRaWAN, работающему поверх технологии модуляции LoRa;

-NB-IoT — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей на сервер через NB-IoT сеть.

Контролируемый параметр	Малые смещения		Наклон. Прогиб		Смещение. Раскрытие трещин
	ZET7010DT	ZET 7110 DT	7154	ZET 7154	
Тип модуля цифрового датчика					ZET 7140-S + BC 701
Вид датчика					

Протокол/Интерфейс	Modbus RTU/RS- 485	CAN	Modbus RTU/RS- 485	CAN	CAN
Единица измерения	мм		градус		mm
Диапазон измерений			-15...+15		-2,5...+2,5
Минимально регистрируемое изменение	0.001		0.01		0,01
Минимальный уровень ALARM	0,2		0,1		0,05

Цифровые инклинометры располагают на элементах (перекрытия, несущие стены, несущие элементы кровли, консольные элементы и т.п.), изменение наклона которых следует контролировать. А цифровые датчики перемещения рекомендуется устанавливать в наиболее вероятных местах появления смещения элементов конструкции друг относительно друга.

В процессе работы подсистема «Мониторинг крена здания и смещения точек элементов» сравнивает регистрируемые значения с установленными пороговыми значениями. В случае превышений пороговых значений формирует соответствующие сигналы «Предупреждение» «Опасность».

Сигналы со всех типов датчиков по интерфейсу Ethernet передаются на промышленный компьютер УСИ (при его наличии) и далее на сервер, где архивируются в базе данных. Для каждого из регистрируемых сигналов производится сравнение с уровнями пороговых значений, в случае превышения которых формируются сигналы оповещения диспетчера. Уровни пороговых значений (предельные значения крена сооружений и смещений элементов конструкции относительно друг друга) рассчитываются в соответствии с нормативной документацией на конкретный вид сооружения: СП 52-101-2003, СП 63.13330.2012, СП 16.13330.2011, СП 20.13330.2011, СП 43.1 3330.2012, СП 22.1 3330.2011.

Для контроля угла наклона используют двух координатные измерители. Наиболее популярны инклинометры: измеритель угла наклона ИН-ДЗ, инклинометры цифровые СММК- БСГ, с цифровые инклинометры ZET 7154.

		
Цифровые инклинометры С МИК. БСГ Изготовитель ЗАО НИИ «СМИС»	Цифровые инклинометры ZET 7X54 Изготовитель ООО «ЭТМС»	Измерители угла наклона ИН-Д3 Изготовитель ЗАО «НТП «Горизонт»

Все устройства предназначены для измерения углов наклона и наклонных перемещений объектов по двум координатным осям, внесены в Государственный реестр средств измерений, имеют цифровой выход и точные характеристики.

Однако наряду со всеми представленными устройствами цифровые инклинометры ZET 7X54 имеют ряд преимуществ:

- реализована функция метрологического самоконтроля
- проверка и оценка метрологических характеристик осуществляется непосредственно на месте измерения датчика, демонтаж не требуется;
- светодиодная индикация устройства позволяет производить диагностику работоспособности и исправности датчиков визуально на месте эксплуатации;
- функция «Установка в нулевое положение» позволяет установить датчик в ноль на каждой из осей, тем самым предупреждая критический наклон платформы по заданной координате.

Данные об изменении пространственных и геометрических характеристик показывают только конечный результат деформации конструкции, но не отражают реального процесса развития этих деформаций и изменения состояния грунтов основания объекта. Поэтому целесообразно использовать данную подсистему в качестве дополнения к системе мониторинга инженерных конструкций.

10.2. Технические средства мониторинга напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций

Напряжённое состояние служит критерием прочности, которое, однако, не может быть оценено прямыми методами. Как правило, напряженное состояние определяется через деформации или какие-либо сопутствующие изменению напряжения эффектами (изменение оптических или магнитных свойств, частотных характеристик и т.п.).

Изменение напряжённо-деформированного состояния конструкций может быть вызвано множеством причин: плохое качество строительных материалов, нарушения порядка проведения строительно-монтажных работ, неравномерная осадка фундамента инженерного сооружения, просчеты в проектировании нагрузок и пр.

Подсистема напряжённо-деформированного состояния предназначена для своевременного выявления существенных изменений напряженно-деформированного состояния в несущих элементах зданий и сооружений, которые могут повлечь за собой перевод объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

Подсистема мониторинга НДС построена на базе цифровых тензометрических датчиков на базе модулей ZET 7010 или ZET 7110, которые обеспечивают контроль деформации и прогибов несущих элементов конструкции.

Цифровые тензодатчики устанавливаются на элементы (перекрытия, несущие стены, несущие элементы кровли, консольные элементы и т.п.) для контроля их деформации.

Аппаратная часть подсистемы может быть выполнена в двух возможных вариантах проводного интерфейса:

- стандарта **RS-485** с поддержкой открытого протокола Modbus RTU, что позволит без труда интегрировать подсистему в существующую стороннюю систему мониторинга на шине Modbus;
- стандарта **CAN** с закрытым уникальным протоколом, разработанным ZETLAB; преимуществом использования данного стандарта является возможность осуществления бездемонтажной проверки датчиков в составе системы, скорость передачи данных и непрерывная проверка качества данных.

Имеется поддержка беспроводных интерфейсов связи по протоколам:

- **LoRaWAN** — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей по беспроводному протоколу LoRaWAN, работающему поверх технологии модуляции LoRa;

- **NB-IoT** — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей на сервер через NB-IoT сеть.

Контролируемый параметр	РАСТЯЖЕНИЕ /СЖАТИЕ							
	Тип модуля цифрового датчика	ZET 7010 DS	ZET 7110 DS	ZET 901 + ZET 7010	ZET 901 + ZET 7110	Тензо резистор + ZET7110	ZET 7010 DT	ZET 7110 DT
Вид датчика								
Единица измерений	мкм/м							
Диапазон измерений	-300...+300	-400...+400	-	10000...+10000	-	8000...+8000	-4000...+4000	
	-1800...+1800							
Минимально регистрируемое изменение	0.2	0.2	1	10	1			
	1.2							
Минимальный уровень ALARM	10	10	50	20	50			
	60							

В подсистеме также могут быть использованы струнные тензометры аналогово типа различных производителей, которые подключаются к цифровым регистраторам для струнных датчиков ZET 7082 и обеспечивают диапазон измерений до 3000 мкε с порогом чувствительности 1 мε.

В процессе работы подсистема «Мониторинг напряжённо-деформированного состояния» сравнивает регистрируемые значения с установленными порогами предупредительного и предаварийного уровней. В случае детектирования превышения пороговых значений формирует соответствующие сигналы «Предупреждение» либо «Опасность».

Сигналы со всех типов датчиков по интерфейсу Ethernet передаются на промышленный компьютер УСИ (при его наличии) и далее на сервер, где архивируются в базе данных. Для каждого из регистрируемых сигналов производится сравнение с уровнями пороговых значений, в случае превышения которых формируются сигналы оповещения диспетчера.

Уровни пороговых значений (предельные значения крена сооружений и смещений элементов конструкции относительно друг друга) рассчитываются в соответствии с нормативной документацией на конкретный вид сооружения: СП 52-101-2003, СП 63.13330.2012, СП 16.13330.2011, СП 20.13330.2011, СП 43.13330.2012.

На изображении функционирования подсистемы «Мониторинг напряжённо-деформированного состояния» выдается график тренда сигналов демонстрирующих величину напряженно-деформированного состояния конструкции за период 48 часов.

В зависимости от времени суток мониторинга, показания цифровых тензометрических датчиков ZET 7110-DS претерпевают изменение. Граница изменения чётко прослеживается при изменении силовых факторов

Наличие малейшей дополнительной нагрузки чётко фиксируется цифровыми датчиками и отображается на графике, что позволяет сделать вывод о высокой чувствительности к изменению реальной величины относительной деформации в точке установки и возможности отслеживания динамики изменения в автоматическом режиме. А наличие функции метрологического самоконтроля позволяет производить диагностику цифровых датчиков в процессе их эксплуатации без демонтажа и прерывания процесса мониторинга.

Следует заметить, что для наиболее точных показаний тензометрических датчиков установка их должна производиться в местах концентрации напряжений элементов конструкции при их нагружении собственным весом, снеговой и ветровой нагрузками. Данные области определяются расчетным методом напряжённо-деформированного состояния конструкций сооружения.

10.3. Мониторинг уровня вибрации несущих элементов сооружения

Прогнозирование вибрации и структурного шума осуществляется посредством измерения вибрации на грунте строительной площадки, расчета нормируемых параметров вибрации и уровней структурного шума в

помещениях с учетом передачи вибрации на фундамент здания, резонансов плит перекрытий и излучения звука ограждающими поверхностями помещений (стены, потолок, пол) с рассчитанными на них уровнями виброскорости.

К основным источникам структурного шума, наиболее часто встречающиеся на практике, можно отнести:

- установленные на технических этажах или в чердачных помещениях зданий вентиляторы, насосные установки, крышные котельные, которые передают колебания по несущим конструкциям;
- жёстко прикрепленные к перекрытиям зданий трубопроводы систем отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВК);
- архитектурные элементы зданий, вызывающие вибрацию вследствие раскачки под воздействием ветрового потока (например, шпили, крышные антенны);
- лифтовое и погрузочное оборудование;
- вибрации, вызванные движением поездов метрополитена и т.д.

Подсистема СМИК «Мониторинг уровня вибрации» предназначена для своевременного выявления изменений амплитуд вибрации несущих элементов зданий (объектов), которые могут повлечь за собой перевод объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

В подсистеме могут быть задействованы как сейсмографы ZET 7152-N VER.3, так и цифровые датчики: ZET 7052-N или ZET 7152-N, либо ZET 7056 или ZET 7156. Датчики задействованные в подсистеме «Мониторинг уровня вибрации» могут быть использованы одновременно и в подсистеме «Мониторинг собственной частоты колебаний и логарифмического декремента затуханий».

Аппаратная часть подсистемы может быть выполнена в двух возможных вариантах проводного интерфейса:

- стандарта RS-485 с поддержкой открытого протокола Modbus RTU, что позволит без труда интегрировать подсистему в существующую стороннюю систему мониторинга на шине Modbus;
- стандарта CAN с закрытым уникальным протоколом, разработанным ZETLAB; преимуществом использования данного стандарта является возможность осуществления бездемонтажной поверки датчиков в составе

системы, скорость передачи данных и непрерывная проверка качества данных.

Так же имеется поддержка беспроводных интерфейсов связи по протоколам:

- **LoRaWAN** — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей по беспроводному протоколу LoRaWAN, работающему поверх технологии модуляции LoRa;

- **NB-IoT** — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей на сервер через NB-IoT сеть.

Контролируемый параметр	Виброускорение / виброскорость		Виброускорение		Виброскорость	
	Тип модуля цифрового датчика	ZET7152-N VER.3		ZET 7052-N	ZET 7152-N	ZET 7056
Вид датчика						
Протокол/интерфейс	CAN		Modbus RTU/RS-485	CAN	Modbus RTU/RS-485	CAN
Единицы измерения	м/с ²	мм/с	м/с ²		мм/с	
Диапазон измерений	-20...+20	0,0015...5	-20...+20		0,0015...5	
Минимально регистрируемое изменение	0.01	0,003	0.01		0,003	
Минимальный уровень ALARM	0,05	0,01	0,05		0,01	

Для каждого из контролируемых элементов конструкции расчетным путем должны быть получены значения предельно допустимых амплитуд колебаний.

Предельные значения виброускорений следует рассчитывать в соответствии с нормативными документами и научными исследованиями:

- СН 2.2.4-2.1.8.566-96 Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.
- ГОСТ Р 52892–2007 Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.
- Инструкция по расчету промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки /Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций ми В.А.Кучеренко Госстроя СССР, Москва 1970.
- Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок / П.А.Козин, Ш.Ш.Исхаков и др. // Сб. науч. труд. «Предотвращение аварий зданий и сооружений» №9, 2010г.
- Вибрационная тестово-функциональная диагностика состояния строительных конструкций при мониторинге зданий и сооружений для предупреждения чрезвычайных ситуаций / Ш.Ш.Исхаков // монография — СПб, ВКА, 2011.

Для каждого измерительного канала подсистемы «Мониторинг уровня вибрации» (на основе рассчитанных предельных значений амплитуд вибрации) назначаются пороговые уровни для сигналов «Предупреждение» и «Опасность». Значения пороговых уровней для сигналов «Предупреждение» рекомендуется устанавливать на уровне 0.6 от рассчитанных предельных значений, а значения пороговых уровней для сигналов «Опасность» — на уровне 0.9.

В процессе работы (в непрерывном автоматическом режиме) СМИК сравнивает значения регистрируемые на измерительных каналах цифровых датчиков подсистемы «Мониторинг уровня вибрации» с установленными пороговыми значениями для предупредительного и предаварийного уровней и в случае детектирования превышений пороговых значений формирует соответствующие сигналы «Предупреждение» либо «Опасность» и заносит их в Журнал событий.

10.4. Мониторинг собственной частоты колебаний и логарифмического декремента затуханий

Для выявления изменений напряженно-деформированного состояния конструкций уже достаточно давно и особенно в последние 10 – 15 лет используются динамические методы зондирования зданий и сооружений. Методы основанные на измерении периодов и логарифмических декрементов собственных колебаний зданий и сооружений.

Колебания зданий и сооружений могут возникать вследствие воздействия проводимых рядом строительных работ, движения различного транспорта или другими техногенными факторами. В связи с этим для высотных зданий возникает необходимость выявления изменений напряженно-деформированного состояния конструкций и локализации мест такого изменения с использованием других методов, позволяющих автоматизировать процесс измерений.

Превышение допустимого уровня напряженно-деформированного состояния способны, при определённых условиях, привести к частичному или полному обрушению данных конструкций и другим негативным последствиям. В истории немало примеров, таких последствий: Египетский мост в Санкт-Петербурге, мост Тэкома-Нерровз в США, Волгоградский мост в Волгограде и др.

Подсистема СМИК «Мониторинга собственной частоты колебаний и логарифмического декремента» позволяет в автоматизированном режиме сигнализировать о превышении допустимого уровня напряженно-деформированного состояния для предупреждения аварийно-опасных случаев.

Подсистема работает на базе цифровых датчиков ZET 7052-N или ZET 7152-N и ZET 7056 или ZET 7156 и обеспечивает контроль за виброускорениями элементов конструкций, периодами собственных частот колебаний зданий (сооружений) и соответствующих им логарифмическими декрементами затухания.

Аппаратная часть подсистемы может быть выполнена в двух возможных вариантах проводного интерфейса:

- стандарта **RS-485** с поддержкой открытого протокола Modbus RTU, что позволит без труда интегрировать подсистему в существующую стороннюю систему мониторинга на шине Modbus;

- стандарта *CAN* с закрытым уникальным протоколом, разработанным ZETLAB; преимуществом использования данного стандарта является возможность осуществления бездемонтируемой поверки датчиков в составе системы, скорость передачи данных и непрерывная проверка качества данных.

Есть поддержка беспроводных интерфейсов связи по протоколам:

- *LoRaWAN* — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей по беспроводному протоколу LoRaWAN, работающему поверх технологии модуляции LoRa;

- *NB-IoT* — сбор данных с датчиков осуществляется по протоколу Modbus RTU через интерфейс RS-485 с последующей их передачей на сервер через NB-IoT сеть.

Контролируемый параметр	Собственная частота колебаний			Декремент затухания		
	Тип модуля цифрового датчика	ZET7152-N VER.3	ZET 7052-N/ZET7152-N	ZET 7056/ZET 7156	ZET 7152-N VER.3	ZET 7052-N/ZET 7152-N
Вид датчика						
Протокол/интерфейс	CAN	Modbus RTU/RS-485 или CAN	Modbus RTU/RS-485 или CAN	CAN	Modbus RTU/RS-485 или CAN	Modbus RTU/RS-485 или CAN
Единица измерения	Гц			—		
Диапазон измерений	0,1...40			0,02...0,9		

Минимально регистрируемое изменение	0,02%	2%
Минимальный уровень ALARM	2%	10%

ПРИЛОЖЕНИЯ



Струнный датчик деформации SVWG-D01 LoRa (беспроводной) предназначен для измерения механических напряжений и деформаций в строительных конструкциях. Используется в тех случаях, когда организация

системы сбора данных с использованием кабелей нецелесообразна или невозможна. SVWG-D01 LoRa работает от батарей и передает данные по протоколу LoRaWAN, что позволяет полностью отказаться от проводов при развертывании системы мониторинга строительных конструкций.

Области применения датчиков:

- длительные измерения относительной деформации и напряжения в сваях, подпорных стенках, колоннах, опорах и стенках резервуаров, других элементах строительных конструкций;
- мониторинг распорных балок котлована;
- диагностический контроль состояния конструкций зданий и сооружений при их строительстве и эксплуатации;



Контроллер струнных датчиков VWC-D01

Контроллер предназначен для организации сбора показаний струнных датчиков и передачи данных по цифровым линиям RS-485 в системах мониторинга строительных конструкций. К контролеру VWC-D01 могут быть подключены датчики разных производителей (RST Instruments, GeoKon, SisGeo, ITMSoil, Sungjin Geotec, НИИЭС и т. д.), включая струнные датчики деформации, перемещений, струнные пьезометры, струнные датчики силы. VWC-D01 последовательно опрашивает струнные датчики, определяет частоту колебания струны, выполняет расчет измеряемой физической величины в соответствии с паспортными коэффициентами преобразования датчика и передает частоту колебания струны и измеренные значения физической величины по цифровым линиям RS-485. Выпускается в конфигурациях с 16 и 32 каналами.

Инклинометр ИН-ДЗ



Прецизионный инклинометр (измеритель наклона) ИН-ДЗ предназначен для измерений малых углов наклона и наклонных перемещений объекта по двум координатам. Представляет собой пылевлагозащищенную моноблочную конструкцию и включает в себя чувствительный элемент – высокоточный первичный преобразователь угла наклона, электронный блок с цифровым выходом и корпус с регулировочными опорными винтами. Инклинометры ИН-ДЗ применяются в системах мониторинга строительных конструкций, природных объектов, при исследованиях изгибных деформаций элементов строительных конструкций, в системах контроля углового положения объектов.

В частности, в гражданском строительстве инклинометры ИН-ДЗ применяются:

- в системах мониторинга строительных конструкций для определения кренов, прогибов и деформаций несущих конструкций, оснований и фундаментов;
- в системах мониторинга напряженно-деформированного состояния большепролетных конструкций и высотных сооружений.

Акселерометр-наклономер АН-ДЗ



Цифровой пьезоэлектрический сейсмоприемник



Предназначен для регистрации сейсмических колебаний строительных конструкций и колебательных ускорений в системах мониторинга строительных конструкций (СМИК) и в составе инженерно-сейсмометрических станций по СП 330.1325800.2017. Сейсмоприемники применяются в качестве первичных преобразователей в составе сейсмо- и виброизмерительных систем и комплексов, а также могут быть использованы в различных областях науки и техники при измерениях (регистрации) параметров низкочастотной вибрации малого уровня. Пьезокерамический акселерометр имеет цифровой выход, что позволяет быстро развертывать цифровые измерительные цепи, состоящие из нескольких акселерометров с длиной линии до 800 метров. Таким образом, отсутствует необходимость устанавливать дорогостоящие внешние АЦП.

Система ONLINE-мониторинга предназначена для приема, сбора и обработки данных, получаемых от различных измерительных датчиков.

Данная система создана для отслеживания деформационных процессов, возникающих в несущих конструкциях зданий и сооружений.

Установка системы возможна на следующие объекты:

- строящиеся здания и сооружения;
- эксплуатируемые здания и сооружения (в том числе памятники архитектуры);
- реконструируемые здания и сооружения;
- сооружения различного назначения, в т. ч. подземные.

На основании полученных и обработанных данных, поступаемых с датчиков, производится оценка влияния горных и строительных работ на строящиеся и эксплуатируемые сооружения.

Описание датчиков

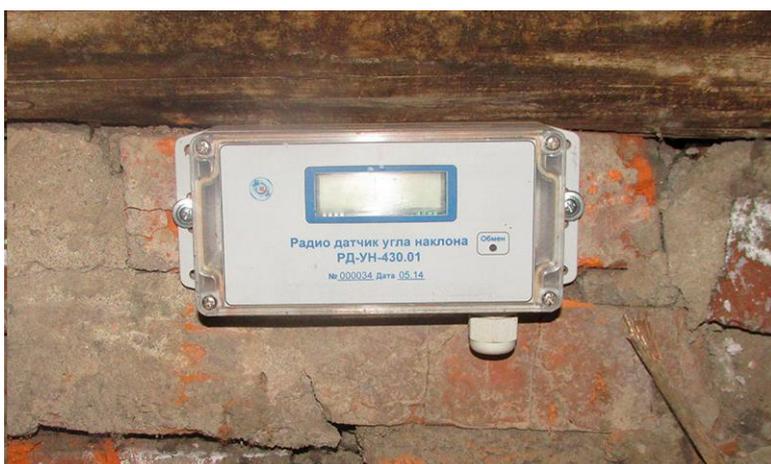
Измерительные датчики обеспечивают периодическое измерение физических параметров в точках их установки, накопление результатов проведенных измерений и последующую передачу результатов проведенных измерений в УСПД (устройство сбора и передачи данных) по радиоканалу.

Все параметры работы измерительных датчиков задаются программно и могут быть оперативно и дистанционно изменены (по радиоканалу). Измерительные датчики сохраняют установленные параметры в энергозависимой памяти. Малый уровень энергопотребления измерительных датчиков обеспечивает их работу в течении длительного времени.

Датчики системы ONLINE-мониторинга позволяют производить измерение следующих физических величин:

- угол наклона зданий и сооружений;
- степень раскрытия (закрытия) трещин, смещений составных частей объекта, деформационных швов;
- вибрации;
- температура;
- влажность;
- давление;
- тензометрические измерения.

Измерение угла наклона



Датчики угла наклона (*инклинометры*), предназначены для измерения угла наклона относительно горизонта и температуры окружающего воздуха с заданной периодичностью, различных статических или динамических объектов и передачи информации об измеренных значениях и состоянии датчика в цифровом виде.

Инклинометры применяются для контроля деформаций жилых и административных зданий, производственных сооружений, опор, балок различных сооружений и т. д. В зависимости от числа осей, относительно которых может измеряться угол наклона, инклинометры могут быть одно-, двух-осевые. Датчики угла наклона, входящие в комплекс ONLINE-мониторинга, обладают степенью защиты IP64, технические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ 22261-94.

Измерение раскрытия трещин

Датчики измерения раскрытия трещин (*измерение линейной деформации*) предназначены для отслеживания изменения степени раскрытия трещин, деформационных швов и т.д., а также температуры окружающего воздуха с заданной периодичностью, различных статических или динамических объектов и передачи информации об измеренных значениях и состоянии датчика в цифровом виде.

Датчики измерения линейной деформации применяются для контроля деформаций жилых и административных зданий, производственных сооружений, составных частей различных сооружений и т.д.

Датчики измерения линейной деформации, входящие в комплекс ONLINE-мониторинга, обладают степенью защиты IP64, технические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ 22261-94.

Устройство сбора и передачи данных



УСПД (*устройство сбора и передачи данных*) представляет собой промышленный компьютер, помещенный в пластиковый бокс. В боксе УСПД также находится GSM-модем, радиомодем 433 МГц, источник бесперебойного питания. Настройка функций сбора и передачи данных

может осуществляться через Интернет с помощью специального ПО. УСПД выполняет следующие функции: сбор и накопление во внутренней памяти информации от измерительных датчиков, предварительную обработку собранной информации, управление работой измерительных датчиков, организацию подключения и передачу данных с использованием сетей сотовой связи стандарта GSM и сети интернет к центральному серверу, получение и исполнение команд центрального сервера для управления и конфигурирования УСПД и измерительных датчиков.