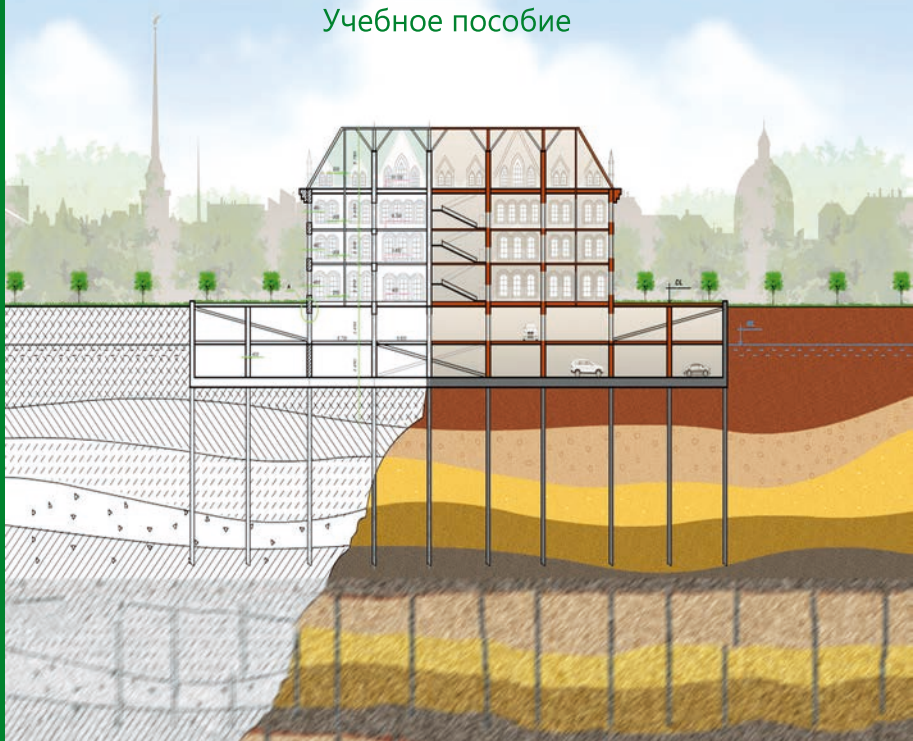




СТРОИТЕЛЬСТВО

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие



Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Москва 2016

УДК 699.88

ББК 38.6

Г35

Авторы:

Е.М. Грязнова, А.Н. Гаврилов, Д.Ю. Чунюк, К.С. Борчев

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Р.А. Мангушев*,
заведующий кафедрой геотехники СПбГАСУ;
доктор технических наук *А.Н. Власов*,
директор ИПРИМ РАН

Г35 **Геотехнический мониторинг в строительстве** : учебное пособие / [Е.М. Грязнова, А.Н. Гаврилов, Д.Ю. Чунюк, К.С. Борчев] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исслед. Моск. гос. строит. ун-т. Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. 80 с.

ISBN 978-5-7264-1402-7

Излагаются и обосновываются вопросы организации и проведения геотехнического мониторинга, которые приняты в современных нормативно-методических документах и при аналитическом обосновании результатов мониторинга.

Для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 Строительство, студентов специалитета, обучающихся по направлению подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

УДК 699.88

ББК 38.6

ISBN 978-5-7264-1402-7

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Термин «геотехнический мониторинг» появился в практике отечественного строительства в 90-х гг. XX в. в ряде нормативных документов [1–3], обобщающих накопленный к тому времени опыт по реконструкции и новому строительству объектов в историческом центре таких мегаполисов, как Москва и Санкт-Петербург [4–6]. Дальнейшее развитие вопросы геотехнического мониторинга получили с выходом в свет региональных [7; 8] и федеральных [9–11] нормативных документов.

Из анализа этих документов следует, что суть геотехнического мониторинга заключается в организации регулярных наблюдений и контроля над состоянием системы *основание — фундамент — каркас здания* как строящихся (реконструируемых), так и попадающих в зону влияния нового строительства (реконструкции) зданий для обеспечения их сохранности и безопасной эксплуатации. С юридической точки зрения, проведение подобного мониторинга закреплено Федеральным законом РФ №384-ФЗ от 30.12.2009 г. (см. [12, гл. 5, ст. 18 и 36]). Следует отметить, что организация и проведение геотехнического мониторинга и сопутствующих ему работ в соответствии с требованиями [11] — мероприятие достаточно затратное. Так, по данным некоторых авторов [13–15], стоимость системы мониторинга, позволяющей вести непрерывный контроль состояния различных объектов во времени, может составлять от 1 до 3–6 % от стоимости всего объекта. Поэтому в ряде случаев в целях экономии средств некоторые застройщики так или иначе пытаются обойти положения, изложенные в нормативных региональных и федеральных документах [7–11], однако, с учетом [12], подобная деятельность оказывается *вне закона и может представить интерес для правоохранительных органов*. Кроме того, отсутствие геотехнического мониторинга или проведение его в неполном объеме является одной из основных причин, приводящих к возникновению аварийной ситуации на объекте (см. [16]).

Из вышеизложенного следует, что система геотехнического мониторинга — это важная компонента, обеспечивающая эффективную составляющую *безопасного* функционирования зданий в период как их строительства (реконструкции), так и эксплуатации. В этой связи необходимо отметить, что в соответствии с требованиями [11] (см. [11, раздел 12, п. 12.6]) работы *по геотехническому мониторингу, оформленные в виде программы, являются разделом утверждаемой части проектной документации*. При подготовке настоящего пособия были использованы наработки в ходе выполнения научно-исследовательских работ, проводимых Научно-техническим и образовательным центром изысканий, диагностики и мониторинга зданий и сооружений (НТОЦ ИДМЗС) и кафедрой механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ.

Целью настоящего издания является ознакомление читателей с основными требованиями действующих в настоящее время нормативных документов по организации и проведению геотехнического мониторинга.

1. ЦЕЛИ И СОСТАВ РАБОТ ПРИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

В соответствии с [11], геотехнический мониторинг — это система комплексного контроля, которая базируется на изучении поведения конструкций возводимого (реконструируемого) сооружения, его основания, в том числе массива грунта, окружающего (вмещающего) строящееся сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки. Наблюдение производится во время возведения объекта строительства и на начальном этапе эксплуатации построенного или реконструированного сооружения.

Целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности возводимых (реконструируемых) зданий и сооружений окружающей застройки и сохранности экологической обстановки.

Проводя геотехнический мониторинг, необходимо помнить о тех задачах, которые решаются в процессе обследования:

- периодическая фиксация изменений контролируемых параметров геологической среды и конструкций сооружения;
- своевременное обнаружение отклонений контрольных параметров (в том числе изменений, которые нарушают прогнозируемые тенденции) конструкций возводимого (реконструируемого) здания и его основания от запроектированных параметров, характеристик основания и окружающей застройки от параметров, которые были получены в результате геотехнического прогноза;
- анализ уровня опасности обнаруженных отклонений контролируемых параметров и установление причин, вследствие которых возникли отклонения;
- разработка мероприятий, устраняющих и предупреждающих обнаруженные негативные процессы или причины, вследствие которых они возникли.

Для выполнения геотехнического контроля применяются следующие методики:

- геодезические (фиксация перемещений марок и др.) с применением теодолитов, нивелиров, сканеров, тахеометров (в том числе электронных, оптических, лазерных и др.) и спутниковых систем;

- геофизические (сейсмические, электромагнитные и др.);
- визуально-инструментальные (проведение контрольных наблюдений за уровнем грунтовых вод, состоянием конструкций, в том числе поврежденных, с фиксацией отклонений маяками или аналогичными устройствами, фотофиксацией и др.);
- тензометрические (фиксация перемещений и усилий в основании, под подошвой фундамента, под пятой сваи, в несущих конструкциях и др.) с использованием набора датчиков деформации и усилий, применяемых в комплексе;
- виброметрические (измерение кинематических характеристик колебаний: виброскоростей, виброускорений, виброперемещений).

Для вновь возводимых (реконструируемых) сооружений необходимо осуществлять геотехнический мониторинг:

- фундаментов, оснований и конструкций сооружений:
 - вновь возводимых (реконструируемых) уникальных;
 - вновь возводимых при высоте более 75 м I уровня ответственности;
 - реконструируемых I и II уровней ответственности;
 - вновь возводимых при высоте меньше 75 м I и II уровней ответственности в случае размещения на площадках с инженерно-геологическими условиями III категории сложности;
- ограждающих конструкций котлованов при глубине котлована:
 - более 5 м и размещении сооружений на застроенных территориях при II или III категории сложности инженерно-геологических условий;
 - более 10 м;
- массива грунта, окружающего подземную часть сооружения, расположенного на застроенной территории, при глубине котлована:
 - более 5 м при размещении сооружения на площадках с II или III категориями сложности инженерно-геологических условий;
 - более 10 м.

Геотехническое обследование зданий (сооружений) окружающей застройки I и II степеней ответственности, в том числе подземных инженерных коммуникаций, требуется осуществлять в случае их расположения в границах зоны влияния вновь возводимого или реконструируемого сооружения. Размеры зоны влияния определяются по результатам геотехнического прогноза или проведением расчета влияния с помощью современных программных комплексов (Plaxis, Midas GTX и т.д.).

Примечание. Геотехнический мониторинг бездействующих инженерных коммуникаций необходимо выполнять, руководствуясь требованиями эксплуатирующей организации или в соответствии со специальным заданием.

Исходя из поставленных задач и состава работ по геотехническому мониторингу, эти работы могут быть разбиты на следующие блоки:

1. *Блок объектного мониторинга*, включающий проведение визуально-инструментальных работ, позволяющих оценить текущее техническое состояние основных несущих конструкций объектов, попадающих в зону влияния нового строительства (реконструкции) и строящегося сооружения, а также инженерных коммуникаций, находящихся в зоне влияния.

2. *Блок гидрогеологического мониторинга* (проводится только в том случае, если при освоении подземного пространства затрагивается водоносный горизонт или если в зоне влияния строящегося объекта находится водоем с переменным уровнем воды, колебания которого способны повлиять на уровень грунтовых вод — УГВ), позволяющий оценить возможные изменения УГВ при проведении строительных работ, а при необходимости дающий возможность произвести отбор проб воды для определения ее текущего химического состава.

3. *Блок геомеханического мониторинга*, позволяющий оценить вероятные изменения физико-механических параметров грунтов основания, попадающих в зону влияния нового строительства (реконструкции). Вопросы геомеханического мониторинга затрагивались в работе [17], а также в нормативных документах, например [10].

4. *Блок экологического мониторинга*, позволяющий контролировать экологическую обстановку на площадке. В соответствии с [11] он выполняется при необходимости (см. [11, п. 13.8]), причем в ряде случаев работы по экологическому мониторингу совпадают с работами блока 2 (см. [18, разд. 5.2]).

5. *Расчетно-аналитический блок*, в рамках которого на основе компьютерного моделирования проводится анализ результатов, полученных в ходе выполнения работ блоков 1–4 данного раздела, дается оценка текущей геотехнической ситуации на объекте и разрабатываются соответствующие рекомендации для дальнейшего ведения работ.

Работы по всем этапам данного раздела должны быть увязаны между собой, что осуществляется в специально разрабатываемой программе, основные требования к которой будут рассмотрены ниже.

2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ. СОСТАВ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ЕЕ РАЗРАБОТКИ

Программа геотехнического мониторинга разрабатывается в процессе проектирования на стадии «Проект» и может быть скорректирована на стадии «Рабочая документация». К ее составлению в соответствии с [11] (см. [11, п. 12.18]) привлекаются специализированные организации.

2.1. Основные требования к программе

В соответствии с [11] (см. [11, п. 12.8]) программа должна отвечать следующим требованиям:

- точность измерений и выбранные методы должны обеспечивать достоверность полученных результатов и согласовываться с точностью проектных значений и результатов геотехнического прогноза, которые были заданы ранее;
- для наиболее характерных и опасных участков вновь возводимых (конструируемых) сооружений, окружающей застройки и их оснований должна выполняться фиксация контролируемых характеристик;
- все проводимые измерения и исследования необходимо увязывать между собой во времени и соотносить с этапами исполнения строительно-монтажных работ;
- частоту наблюдений необходимо назначать в соответствии со скоростью (интенсивностью) и продолжительностью протекающих процессов деформирования конструкций зданий и их оснований;
- программа должна включать математическую компьютерную модель (модели) взаимодействующей системы *основание — объект — окружающая застройка*, в том числе инженерные коммуникации, попадающие в зону влияния нового строительства (реконструкции).

2.2. Состав программы

Согласно [11] (см. [11, п. 12.9]) в программе нужно указывать:

- особенности возводимого или реконструируемого объекта (конструктивная схема, уровень ответственности, особенности возведения, проектные решения по устройству фундаментов, основания и подземной части сооружения, особенности эксплуатации и др.);

- расчетные (проектные) параметры, которые характеризуют взаимодействие здания и его конструкций с грунтовым массивом, включая временные параметры, с учетом последовательности строительства объекта (давление на основание, напряжения в сваях и конструкциях подземной части сооружения, деформации основания фундаментов, горизонтальные деформации ограждения котлована и усилия в элементах конструкции, которые обеспечивают его устойчивость и т.п.);

- информацию о сооружениях, располагающихся в непосредственной близости к площадке строительства (предельные и прогнозируемые величины дополнительных деформаций фундаментов и оснований, степень ответственности сооружений, предполагаемые защитные мероприятия и др.);

- гидрогеологические и инженерно-геологические условия, в том числе свойства грунтов основания, изменения уровня грунтовых вод, прогнозируемые значения перемещений грунтового массива, окружающего сооружение, и др.;

- контролируемые параметры (в том числе участки фиксации изменений этих параметров и их предполагаемое количество) конструкций возводимого (реконструируемого) сооружения, его основания (в том числе окружающего массива грунта), уровня грунтовых вод и окружающей застройки (в частности, первоначальную фиксацию контролируемых параметров);

- методы фиксации изменений контрольных характеристик и требования к точности измерений (в том числе степень точности геодезических измерений в соответствии с ГОСТ 24846–2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений и др.);

- периодичность, этапы и сроки проведения наблюдений за контрольными параметрами с учетом последовательности возведения (реконструкции) объекта;

- требования к составу, структуре и периодичности подготовки отчетной документации;

- сведения и требования к расчетно-аналитическому аппарату мониторинга;

- сведения о порядке принятия решений и мероприятий по результатам мониторинга.

При назначении сроков проведения геотехнического мониторинга следует руководствоваться данными, приведенными в прил. 1 настоящей работы.

При установлении критериев технического состояния несущих конструкций следует отталкиваться от основ метода предельных состояний, которые гарантируют надежность возводимых объектов

(ГОСТ 27751—2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения).

При строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, в соответствии с данной методикой, различают два предельных состояния:

- Первое предельное состояние, которое наступает в момент *полной потери конструкцией характеристик, отвечающих требованиям нормальной эксплуатации*, и конструкция разрушается, теряет устойчивость, опрокидывается и т.д. В этом случае при проектировании зданий исходят из минимально вероятных (расчетных) сопротивлений конструкционных материалов и максимально вероятных (расчетных) воздействий. Не следует понимать выше сказанное в буквальном смысле в связи с тем, что метод предельных состояний, во-первых, строится на вероятностных принципах, во-вторых, проектировщик может задать дополнительные запасы, тем самым компенсируя неучтенные воздействия и неблагоприятные факторы. Для этого, например, существуют коэффициенты условия работы и коэффициенты надежности по назначению строящегося здания (сооружения) и т.д.

- Второе предельное состояние, которое наступает, когда *нормальная эксплуатация сооружения затруднена, при этом несущая способность сохраняется*, например, деформации (прогибы) конструкций ведут к нарушению работы используемого технологического оборудования, колебания несущих конструкций негативно влияют на состояние людей, которые находятся в помещении, и т.д. Конструирование зданий и сооружений в этом случае выполняется согласно так называемым нормативным значениям — пониженным для нагрузок и повышенным для прочности материала, в предположении, что такое состояние будет кратковременным либо может быть ликвидировано штатными средствами, после чего объект в полной мере будет удовлетворять требованиям нормальной эксплуатации, а также требованиям безопасности.

Согласно перечисленным фундаментальным положениям формулируются *критерии*, согласно которым можно оценить техническое состояние конструкций зданий и сооружений. Также эти критерии позволяют выявить порядок формирования технического решения по этапу мониторинга технического состояния несущих конструкций объекта и порядок принятия решений, обеспечивающих безопасную эксплуатацию сооружения.

Если условно установить рекомендации по обозначению опасности согласно принципу «светофора», то при использовании *интегральных* характеристик — *перемещения, формы и частоты колебаний* сооружения — можно «зажигать» различные цвета:

- *зеленый*, когда контролируемые в ходе мониторинга величины данных характеристик не будут превышать значений, которые были рассчитаны при *нормативных* воздействиях. Это состояние, отвечающее нормальной эксплуатации объекта;

- *желтый*, когда контрольные параметры превосходят нормативные значения. Это состояние сигнализирует о приближении серьезной опасности. Рекомендуется оперативно выяснить причину, по возможности ее устранить либо выполнить предупреждающие организационные мероприятия;

- *красный*, когда контролируемые величины достигают или превышают значения, которые соответствуют *расчетным* воздействиям. Это состояние говорит о необходимости остановить дальнейшую эксплуатацию сооружения.

В методе предельных состояний используется целая система коэффициентов надежности, которые основываются на статистической обработке многочисленных данных исследований и опыте эксплуатации реальных объектов строительства. Данная методика позволяет вводить дополнительные меры безопасности.

Обработка материалов мониторинга может вестись с использованием изложенного выше «семафорного принципа», как это рекомендовано в [19; 20] (рис. 2.1).

$\alpha < \alpha_{\text{норм}}$	$\alpha_{\text{норм}} < \alpha < \alpha_{\text{расч}}$	$\alpha > \alpha_{\text{расч}}$

Рис. 2.1. Шкала для обработки результатов геотехнического мониторинга:

■ — зеленый цвет; □ — желтый цвет; ■ — красный цвет;
 α — контролируемый параметр; $\alpha_{\text{норм}}$ — нормативное значение контролируемого параметра; $\alpha_{\text{расч}}$ — расчетное значение контролируемого параметра

Зеленый цвет означает, что элемент, за которым ведется наблюдение, находится в *работоспособном состоянии*, желтый свидетельствует о переходе технического состояния элемента в *ограниченно работоспособное*, красный — возможно возникновение *аварийной ситуации*.

Согласно программе геотехнического мониторинга сооружений I уровня ответственности, при III категории сложности инженерно-геологических условий разработка проекта мониторинга является обязательной. В остальных случаях разработка проекта мониторинга выполняется по специальному заданию.

В проекте геотехнического мониторинга, помимо сведений, которые содержатся в программе, должны быть представлены:

- схемы расположения наблюдательных скважин, датчиков, марок, маяков и др.;
- характеристика и конструкции оборудования для проведения геотехнического мониторинга;

- методика проведения замеров, оценка точности проведенных измерений и др.;
- положение о визуально-инструментальном обследовании сооружений окружающей застройки;
- рекомендации по обеспечению достоверности и надежности информации;
- руководство по эксплуатации наблюдательной станции (НС).

Из вышеизложенного следует, что для разработки программы и организации геотехнического мониторинга необходимо располагать определенными исходными данными, состав которых приводится ниже.

2.3. Исходные данные для разработки программы и организации мониторинга

Основной перечень исходных данных для разработки программы и организации геотехнического мониторинга должен включать:

1. Заключение по результатам инженерно-геологических изысканий.
2. Отчет об экологической экспертизе.
3. Акты, дающие право на использование участка согласно указанным границам.
4. Проектные решения по этапу нулевого цикла.
5. Заключение по результатам обследования технического состояния зданий и сооружений, которые располагаются в зоне влияния проектируемого сооружения.
6. Прогноз влияния проведения земляных и строительно-монтажных работ на прочность и устойчивость зданий окружающей застройки, сохранность их конструкций.
7. Технологические и инженерно-технические решения, реализация которых гарантирует прочность и устойчивость зданий и сооружений, которые располагаются в зоне влияния проектируемого сооружения.
8. Проект организации строительства, включая (при необходимости) схемы строительства объекта в стесненных городских условиях существующей застройки.
9. Проект производства работ с разработанной технологической схемой выполнения работ по устройству глубоких котлованов, при реализации которых должно практически исключаться влияние на здания и сооружения, попадающие в зону строительства.
10. Перечень других одновременно возводимых с основным объектом подземных и надземных сооружений, строительные работы на которых могут оказать влияние на результаты выполняемого мониторинга.

11. Перечень других предполагаемых к разработке (или уже выполняемых) видов мониторинга (мониторинг зданий и сооружений окружающей застройки, мониторинг геологической среды района строительства и др.) на возводимом объекте и в зоне влияния строительства.

2.4. Предварительные работы для разработки программы мониторинга

Геотехнический мониторинг осуществляется в соответствии с программой, разрабатываемой организацией, проводящей обследование, и согласовывается с организацией, осуществляющей научно-техническое сопровождение строительства.

Программа должна разрабатываться на стадии проектирования здания или сооружения и учитывать степень ответственности сооружения (здания), технологические особенности его возведения и гидрогеологические условия площадки строительства. В ней необходимо отразить состав и объемы работ по обследованию (мониторингу), также указать перечень измеряемых параметров с обоснованием требуемой точности измерений.

Перед началом создания программы геотехнического мониторинга осуществляется детальный анализ материалов *по исходным данным для разработки программы и организации мониторинга* (пп. 1–11), указанным в предыдущем подразделе данной работы. По результатам анализа определяют назначение системы мониторинга и его функции. Так, в частности, на основании анализа материалов отчетов по результатам обследования существующих зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния предполагаемого строительства (п. 5 предыдущего подраздела), с целью определения технического состояния, и по таблицам прил. 2–4 (см. [11]) устанавливаются категории технического состояния и значения предельно допустимых деформаций реконструируемых зданий и сооружений, которые попадают в зону влияния строительства или реконструкции. Степень воздействия нового строительства на существующие подземные коммуникации устанавливается посредством сравнения расчетных показателей дополнительных деформаций с допустимыми. Для сравнения используются следующие показатели деформаций: осадки, относительная разность осадок, относительные горизонтальные деформации растяжения или сжатия, кривизна либо радиус кривизны [21]. При отсутствии данных об обследовании инженерных коммуникаций, которые попадают в зону влияния нового строительства или реконструкции, следует пользоваться информацией, полученной от организаций, эксплуатирующих эти сооружения. Затем разрабатывается математическая (компьютерная) модель си-

стемы *основание — фундамент — каркас* как строящегося здания, так и зданий окружающей застройки, которые попадают в зону влияния нового строительства (реконструкции). Модель может быть выполнена в 2D или 3D постановке с использованием программных комплексов PLAXIS 3D или MIDAS и др.

Так как в нормативной документации отсутствуют критерии выбора формата модели, то на данном этапе могут быть использованы рекомендации, приведенные в [22]. Согласно этим рекомендациям, в зависимости от габаритов здания, при $L/b > 10$ выбирается 2D, а при $L/b < 10$ — 3D модель, где L и b соответственно длина и ширина здания.

Наиболее реально отражающей работу грунта при разгрузке — загрузке основания на сегодняшний день является модель упрочняющегося грунта, наилучшим образом подходящая для корректного определения напряженно-деформированного состояния массива при откопке котлована (загрузке — разгрузке основания).

В качестве примера расчета влияния можно привести участок строительства № 15 ММДЦ «Москва-Сити», с южной стороны граничащий с центральным ядром, располагающимся на расстоянии 9,5 м от котлована. Существующее ограждение выполнено в виде «стены в грунте» толщиной 900 мм и буронабивных свай. Посредством устройства 2, 4-х ярусов грунтовых анкеров с несущей способностью 60 т (рис. 2.2) обеспечивается устойчивость конструкции котлована.

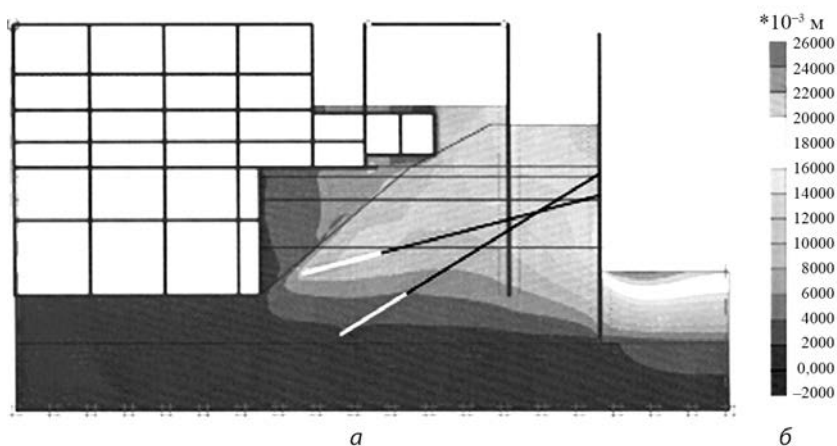


Рис. 2.2. Деформации массива грунта при разработке котлована до проектной отметки (по данным [23]):
 a — суммарные перемещения; b — шкала перемещений массива грунта

Оценивая влияние устройства котлована и его ограждения, Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова [23] выполнил моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтового массива на базе упругопластической модели грунта Кулона – Мора с учетом усиления, представляющего собой системы тяжей из омоноличенных двутавров, соединяющих между собой «стену в грунте» с подземными конструкциями центрального ядра. Проведенные геодезические наблюдения за конструкциями эстакады показали, что горизонтальные перемещения колонн составили 18–23 мм при предполагаемых деформациях ~ 0 мм. Горизонтальные перемещения ограждения котлована составляют 1 (отм. 106,1 м) – 46 (отм. 122,5 м) мм в сторону котлована и не превышают установленного критерия. Однако при учете фактора времени (сроки строительства возросли) рост перемещений в сторону котлована может продолжиться. Для стабилизации перемещений было выполнено дополнительное натяжение анкеров ограждения котлована, что замедлило процесс роста деформаций (сила натяжения контролировалась установленными динамометрами). В соответствии с этим при оценке влияния строительства котлована следует учитывать потерю преднапряжения и временной фактор, ползучесть бетона и пр. Общий вид котлована участка № 15 «Москва-Сити» показан на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Общий вид котлована участка № 15 «Москва-Сити»

Следует отметить, что математическая модель должна позволять не только определять места установки датчиков на основании прогнозируемого НДС системы *основание — фундамент — каркас*, но и давать возможность вести обратный расчет анализа поведения указанной выше системы. Это позволит выявить причины отклонения реального НДС от прогнозируемого и скорости его изменения от расчетных значений [24]. Также данные модели позволят прогнозировать как габариты зоны влияния нового строительства или реконструкции, так и деформации грунтового массива и фундаментов зданий и инженерных коммуникаций, которые он вмещает. При этом радиус зоны влияния можно ограничить расстоянием, при котором расчетное значение дополнительной осадки массива грунта не превышает 1 мм ([11, п. 9.34]).

На рис. 2.4 приведены результаты расчета зоны влияния реконструкции здания по адресу Хлебный пер., д. 19 в Москве. Проектом реконструкции предусмотрено усиление фундаментов буроинъекционными сваями по разрядно-импульсной технологии, при этом осадки соседних зданий не должны превышать 30 мм.

В ряде случаев результаты определения габаритов зоны влияния удобно представлять в виде топографического плана с изолиниями прогнозируемых осадок (рис. 2.5), а также таблицей с расчетными данными (табл. 2.1).

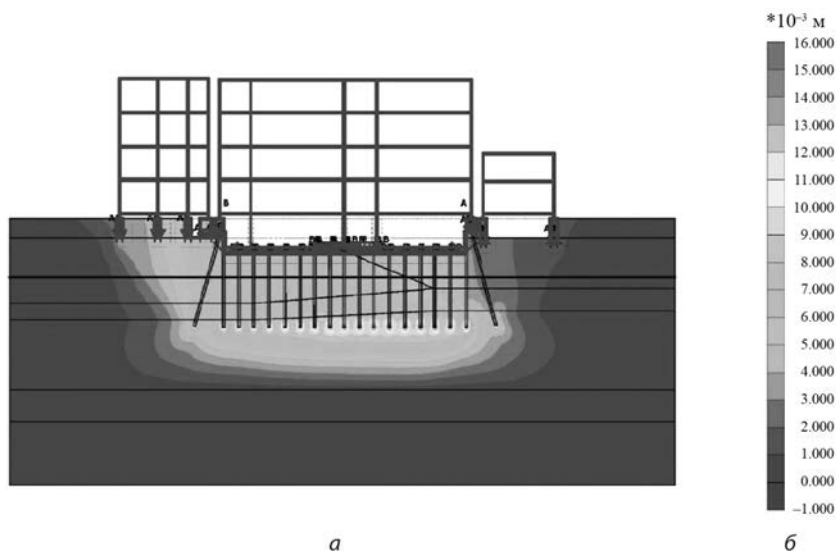


Рис. 2.4. Результаты расчета зоны влияния реконструкции здания в Москве по адресу Хлебный пер., д. 19:

a — суммарные перемещения; *б* — шкала перемещений массива грунта

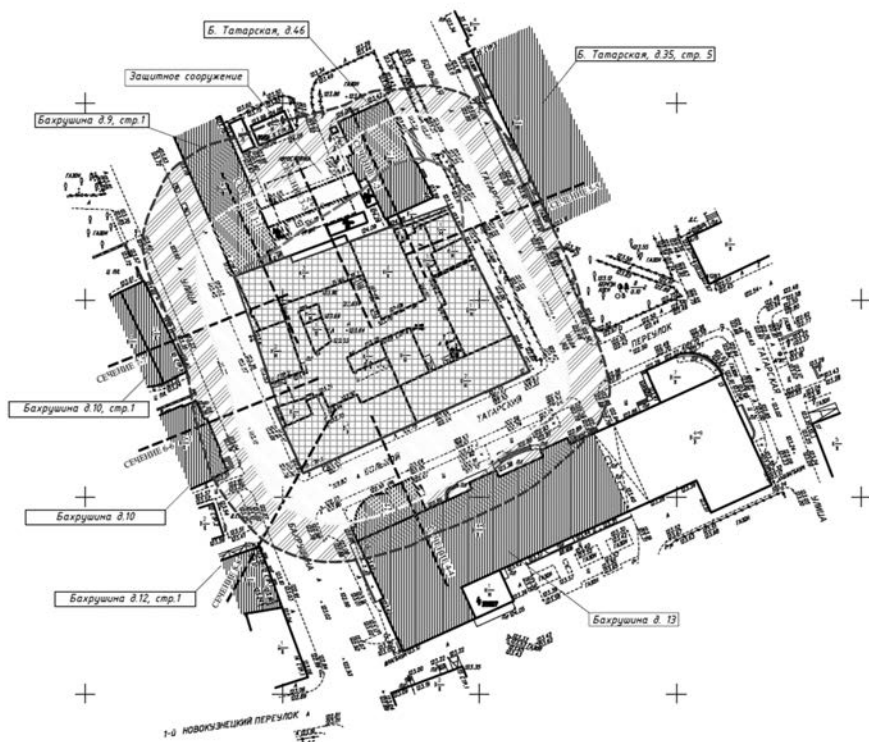


Рис. 2.5. Изолинии прогнозируемых осадок при строительстве гостиничного комплекса на ул. Бахрушина в Москве:

-  — контур подземной части гостиничного комплекса;
-  — контур зданий, попадающих в зону влияния строительства;
-  — граница зоны с деформацией массива грунта до 40 мм и более;
-  — граница зоны с деформацией массива грунта 40—20 мм;
-  — граница зоны с деформацией массива грунта до 20—10 мм

В таблице должны содержаться сведения о расчетных и предельно допустимых осадках и их неравномерности, а при необходимости — в зависимости от геотехнической категории сложности и уровня ответственности здания — дополнительные критерии: крен, напряжения в распорках, тягах анкеров ограждения котлована и т.д.

Таблица 2.1

**Результаты расчета дополнительных деформаций зданий,
попадающих в зону влияния гостиничного комплекса (см. рис. 2.5)**

№ фундамента	Категория состояния конструкций	Дополнительные перемещения подошвы фундамента от устройства котлована и возведения здания, мм	Суммарные дополнительные перемещения подошвы фундамента от устройства котлована и возведения здания, мм	Предельно допустимая осадка для данной категории состояния конструкций здания, мм	Неравномерность осадок	Предельно допустимая неравномерность для данной категории состояния конструкций здания	Рекомендации
Сечение 1—1 (ул. Бахрушина, д. 9, стр. 1, тип фундамента — ленточный)							
1	II	17,48	36,1	40,0	—	—	Защитных мероприятий не требуется
2		16,00	27,5	40,0	0,00144	0,002	
3		14,66	20,5	40,0	0,00116	0,002	
4		13,63	16,1	40,0	0,00075	0,002	
5		13,04	13,8	40,0	0,00038	0,002	
Сечение 2—2 (ул. Б. Татарская, д.46, тип фундамента — ленточный)							
1	I	22,67	68,5	30,0	—	—	Необходимо проведение мероприятий по усилению фундаментов
2		18,71	46,7	30,0	0,00247	0,001	
3		14,69	26,6	30,0	0,00229	0,001	
4		11,48	13,8	30,0	0,00145	0,001	

Следует отметить, что любая технология усиления основания связана в частности и с дополнительной технологической осадкой или иным негативным воздействием, которое также должно быть учтено при разработке программы и проекта геотехнического мониторинга. Так, в случае, например, использования буроинъекционных свай по разрядно-импульсной технологии необходимо проведение сейсмического мониторинга.

Для предварительного назначения зоны влияния вновь возводимого (реконструируемого) сооружения, расположенного на застроенной территории, допускается ориентировочный радиус зоны влияния $r_{з.в.}$, м, принимать в зависимости от глубины котлована H_k , м, метода его крепления и конструкции ограждения котлована равным (см. [11, п. 9.36]):

- $5H_k$ — когда используется ограждение котлована с креплением анкерными конструкциями, но не более $2L$, где L — суммарная длина горизонтальной проекции тела анкера и его тяги, м;

- $4H_k$ — когда используется ограждение котлована из стальных элементов (труб, двутавров и т.п.) с консольным креплением либо креплением стальными распорками или подкосами, а также при устройстве котлована в естественных откосах;

- $3H_k$ — когда используется монолитная или сборно-монолитная железобетонная конструкция ограждения котлована (по технологии «стена в грунте», буронабивных секущихся свай и т.п.) с консольным креплением либо креплением стальными распорками или подкосами, а также при использовании ограждения из стальных элементов (труб, двутавров и т.п.) и экскавации грунта в котловане под защитой монолитных железобетонных перекрытий;

- $2H_k$ — при использовании монолитной или сборно-монолитной железобетонной конструкции ограждения котлована (по технологии «стена в грунте», буронабивных секущихся свай и т.п.) и экскавации грунта в котловане под защитой монолитных железобетонных перекрытий.

Примечание. Величина предварительно назначаемой зоны влияния может корректироваться на основании местного опыта проектирования с учетом специфических грунтовых условий и других факторов.

В случае, если подземная часть сооружения полностью или частично перекрывает естественные фильтрационные потоки в основании, следует выполнять прогноз изменений гидрологического режима площадки строительства (см. [11, п. 27]), что также должно учитываться разрабатываемыми моделями.

В качестве примера программы геотехнического мониторинга приведен фрагмент соответствующего документа по башне «Ахмат Тауэр» в г. Грозном (прил. 5).

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Методы, которые применяются при выполнении геотехнического мониторинга, указаны в разд. 1 настоящего пособия. При этом разрешается для фиксации изменений контрольных параметров использовать другие методики, в том числе косвенные, обеспечивающие достоверность результатов наблюдений и их схожесть с результатами, полученными по указанным выше методам.

Ниже рассмотрим методику проведения геотехнического мониторинга для каждого его блока (см. разд. 1 настоящего пособия) по отдельности.

3.1. Объектный мониторинг

Объектный мониторинг проводится для оценки технического состояния надземных и подземных конструкций как вновь строящегося (реконструируемого) здания, так и сооружений, которые попадают в зону влияния строительства. Для этого вида мониторинга используются практически все методы, представленные выше.

3.1.1. Геодезические методы

При использовании этих методов фиксируют перемещения поверхностных геодезических марок (ПГМ) при помощи нивелиров, тахеометров, теодолитов, а иногда навигационных спутниковых систем. ПГМ — это геодезические знаки, которые устанавливаются на поверхности объектов, попадающих в зону влияния строительства (зданий, инженерных коммуникаций, конструкций вновь строящихся или реконструируемых зданий, грунтового массива основания и т.п.). Для наблюдения за перемещениями ПГМ создается опорная плано-высотная сеть, включающая несколько реперов, вынесенных за габариты зоны влияния. За этими реперами и проводится наблюдение.

Для сооружений I уровня ответственности следует использовать глубинные реперы (ГР). Это фундаментальные геодезические знаки, закладываемые в специально пройденные скважины до практически несжимаемых грунтов. Система ГР, при наличии сопутствующего оборудования, позволяет обеспечить I класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений.

Следует отметить, что в условиях плотной городской застройки часто используют городскую геодезическую сеть, которая, как правило, базируется на поверхностных реперах, устанавливаемых на поверхности цокольных этажей окружающих зданий и сооружений, которые сами претерпевают подвижки, поэтому I класс точности может быть не обеспечен.

Определение точности измерения вертикальных и горизонтальных смещений производят в зависимости от ожидаемого расчетного смещения. Если отсутствуют данные о расчетных значениях деформаций оснований и фундаментов, разрешается устанавливать следующий класс точности измерений вертикальных и горизонтальных деформаций:

I — для сооружений (зданий) уникальных, находящихся в эксплуатации более 50 лет, которые возводятся на полускальных и скальных грунтах;

II — для сооружений (зданий), которые возводятся на глинистых, песчаных и других сжимаемых грунтах;

III — для сооружений (зданий), которые возводятся на просадочных, насыпных, заторфованных и сильно сжимаемых грунтах;

IV — для грунтовых сооружений.

ПГМ размещаются на поверхности наблюдаемых конструкций или грунтового массива. Расстояние между ПГМ на зданиях обычно принимают равным 10–15 м. При наличии деформационных швов в здании, а также выступающих частей расстояние между ПГМ следует сокращать до 2–5 м. Примеры размещения ПГМ на различных площадках показаны в прил. 6 настоящего пособия. Для наблюдений за перемещением инженерных коммуникаций используют обычно их выступающие доступные части, например защитные люки.

Основными контролируемыми параметрами α при проведении геодезического мониторинга являются вертикальные осадки S_v , подъемы S^1 , прогибы F и горизонтальные сдвиги u , крены i , перемещения, которые сравниваются с допустимыми значениями (см. прил. 2–4 настоящего пособия). Результаты геодезического мониторинга заносятся в ведомости, которые принято называть накопительными. Возможный вариант формы накопительной ведомости приведен в прил. 7 настоящей работы.

Следует отметить, что при возможном динамическом воздействии, например, от линий метрополитена или железнодорожного и трамвайного видов транспорта для сооружений I и II степеней ответственности, по спецзаданию, для оперативного получения необходимой информации о деформациях строящихся зданий и зданий, находящихся в зоне влияния, целесообразно применять постоянно действующие системы, в которых измерения, обработка и анализ данных, а также передача их пользователю осуществляются автоматически в режиме реального времени с заданной периодичностью.

Схема прокладки швейного хода N1

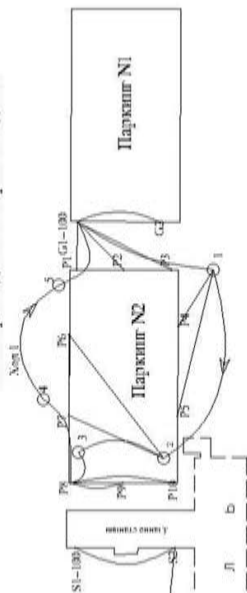


Схема прокладки швейного хода N2

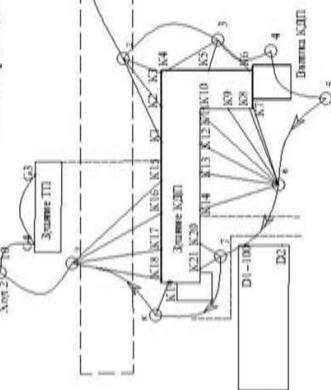


Схема установки наблюдательной станции "Циклоп" при производстве наблюдений за вышкой КДП в аэропорту "Внуково"

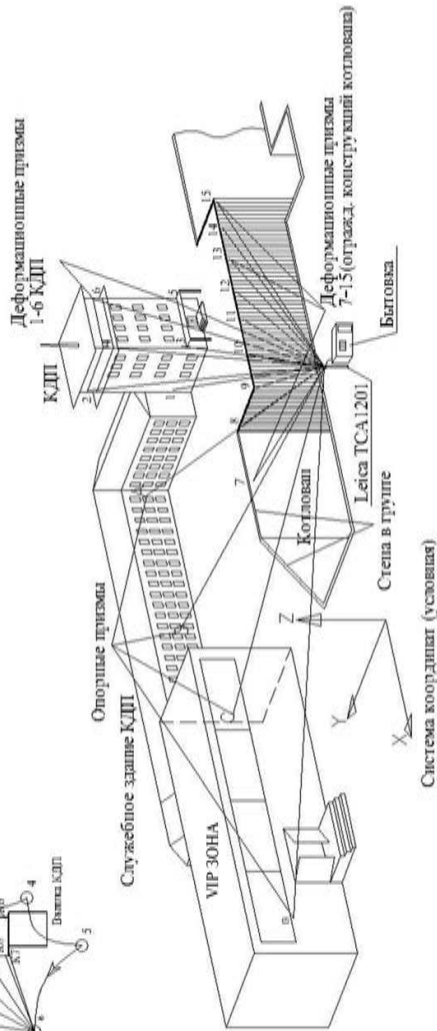


Рис. 3.1. Схема геодезического мониторинга при строительстве аэропорта «Внуково-1»

Одной из таких систем является система геодезического мониторинга «Циклоп», геодезические приборы в которой оснащаются сервоприводами, приемниками, передатчиками, а также программным обеспечением. В качестве ПГМ в этом случае используются катафоты (отражатели) [25–27].

К бесспорным достоинствам системы «Циклоп» относятся оперативность получения результатов и короткий период осуществления замеров (раз в 10–15 минут). Недостатками данной системы являются возможность осуществления наблюдений непосредственно в пределах видимости от прибора, ограниченность по дальности от объектов наблюдения, а также более низкая точность измерений в сравнении со стандартным нивелированием II класса точности. Кроме того, к недостаткам можно отнести относительно высокую стоимость выполняемых работ. Подобная система была применена при строительстве аэровокзального комплекса «Внуково-1» (рис. 3.1).

При производстве работ на начальном этапе строительства (устройство «стены в грунте», откопка котлована, установка в качестве крепления ограждения котлована анкеров) раз в три дня производились геодезические замеры по маркам, которые устанавливались на колоннах каркаса здания паркинга и аэровокзала, по цоколю служебного здания контрольно-диспетчерского пункта (КДП) и вышки, и еженедельные инструментальные и визуальные наблюдения за техническим состоянием несущих конструкций и образованием в них трещин. С учетом ответственности сохраняемых сооружений, в особенности вышки КДП, с целью повышения оперативности получения данных на рассматриваемом объекте применялась система «Циклоп».

Выполнение циклических измерений осуществляется автоматически, на данном объекте с периодичностью раз в 30 минут. Однако в поле наблюдения системы «Циклоп» попадала только вышка КДП, в то время как остальные здания охватывались лишь частично (см. рис. 3.1), поэтому применение традиционной методики наблюдений остается актуальным. Фотография вышки КДП приведена на рис. 3.2. Таким образом, на рассматриваемом объекте применялась комбинированная система мониторинга, включающая в себя традиционный метод наблюдений и методику автоматизированной системы «Циклоп».

За время мониторинга сохраняемой части аэропорта деформации интенсивно развивались на этапе установки инъекционных предварительно напряженных анкеров первого и второго уровней котлована строительства нового здания аэропорта и компенсационного нагнетания цементного раствора в основание здания. Фотография котлована приведена на рис. 3.3.



Рис. 3.2. Вышка КДП



Рис. 3.3. Общий вид котлована нового аэровокзального комплекса (на заднем плане старое здание АВК-1)

На начальном этапе степень деформаций определялась нивелировкой пола, затем проводились периодические наблюдения по маркам на колоннах каркаса сооружения, при этом был зафиксирован незначительный подъем сооружения — до 5 мм. При этом образование трещин было выявлено только в конструкциях ограждения котлована. В зимний период 2006—2007 гг. основание участка сооружения, примыкающего к котловану, было заморожено, в результате чего возникли незначительные силы морозного пучения, которые привели к подъему сооружения (до +5,2 мм). В период оттаивания грунтового массива между конструкциями ограждения котлована и зданием аэровокзала наблюдался рост осадок по отдельным маркам. Максимум значений вертикальных перемещений составил –16,5 мм (рис. 3.4), а относительная разность осадок на некоторых участках была превышена в 1,8—2 раза.

Перед началом работ по откопке котлована аэровокзала был проведен анализ технического состояния несущих конструкций АВК-1, в частности, фундаментов. Разработка шурфов, предназначенных для проведения обследования фундаментов в эксплуатируемом здании, оказалась невозможна, что связано прежде всего с высоким пассажиропотоком. В связи с этим для определения глубины заложения и характеристик прочности материалов фундаментов, в том числе состояния контакта фундамента с грунтом, использовались неразрушающие геофизические методы. Сейсмоакустическое зондирование (САЗ) проводилось по 10-ти точкам, которые располагались на поверхности несущих колонн. Анализ состояния контакта *фундамент — грунт* проводился по динамическим величинам записи отраженных

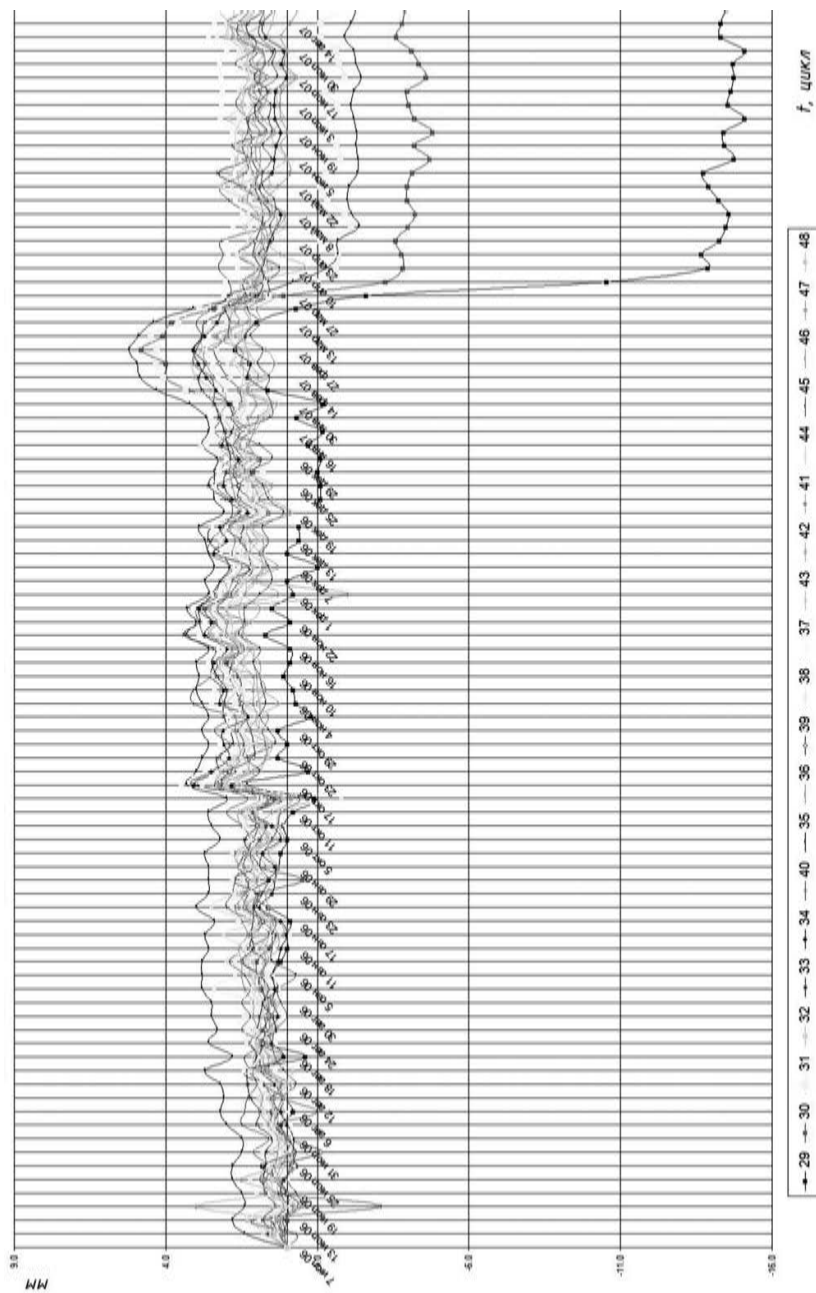


Рис. 3.4. Развитие осадков участка здания АВК-1 во времени за период с 07.2006 по 08.2007 гг.

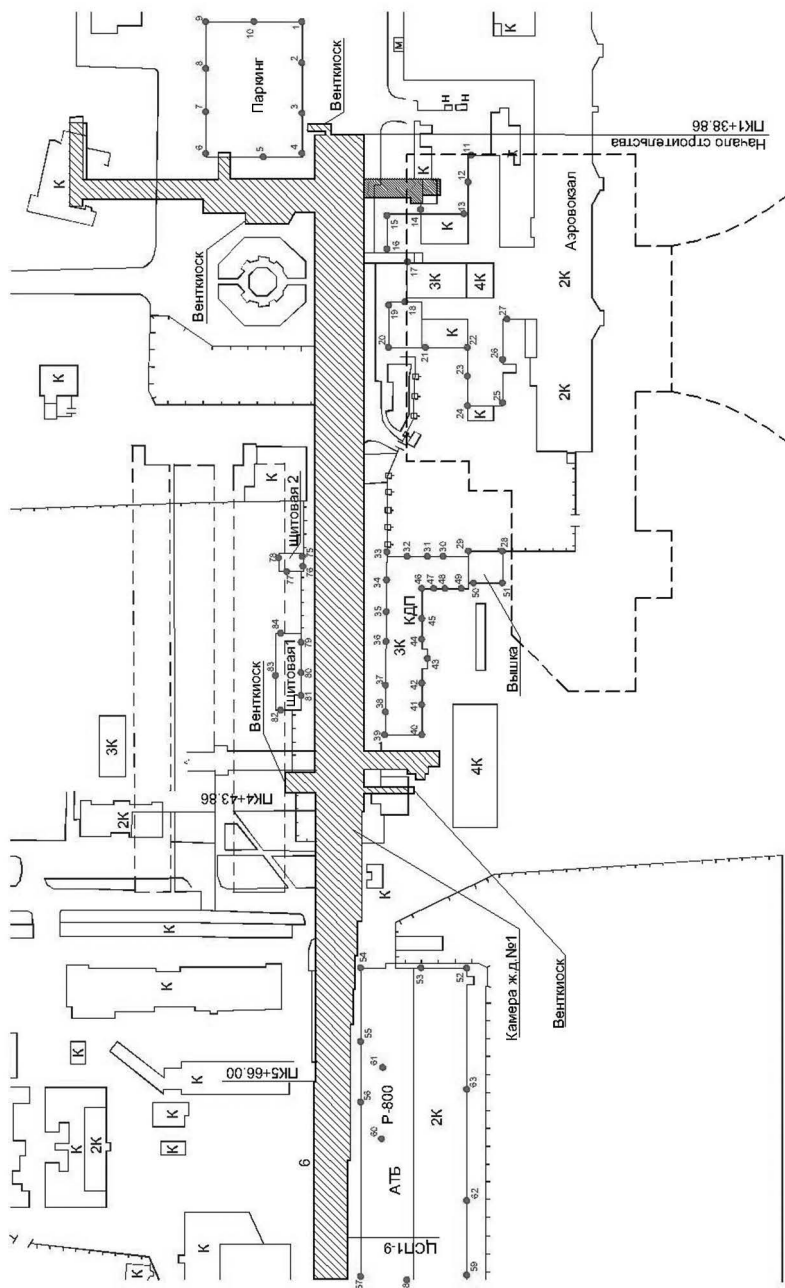


Рис. 3.5. Схема установки геодезических марок мониторинга осадок при строительстве железнодорожного тоннеля в аэропорту Внуково

колебаний от основания фундамента на основе исследования свойств упругих резонансных явлений в фундаменте. Результаты этих работ позволили определить величины дополнительных предельно-допустимых деформаций АВК-1.

Начиная с лета 2006 г. был также установлен мониторинг за указанными выше зданиями, программой которого предусматривалось не только проведение геодезических наблюдений за деформациями и трещинообразованием зданий, но и визуальный контроль технического состояния несущих конструкций. Кроме того, в дальнейшем производились наблюдения за деформациями «стены в грунте», основной целью которых являлось оперативное предупреждение возникновения вероятных аварийных ситуаций на эксплуатируемых объектах. Схема объектов мониторинга показана на рис. 3.5.

3.1.2. Визуально-инструментальный метод

Цель систематически проводимых визуально-инструментальных наблюдений — получить информацию о характере развития дефектов, выявленных в ходе выполнения обследования здания, которое в соответствии с [11] (см. [11, п. 12.13]) проводится до начала подготовки строительной площадки. При этом фиксируют:

- водопроницаемость бетона и его прочность;
- процент армирования, профиль и площадь арматуры;
- величину защитного слоя;
- глубину и степень коррозии бетона (сульфатизация, проникание хлоридов, карбонизация и т.д.);
- степень прочности материалов каменной кладки;
- перекосы, наклоны и сдвиги элементов несущих конструкций;
- степень коррозии сварных швов и металлических элементов;
- осадки основания (по специальному заданию);
- осадки, крены, прогибы и кривизну фундаментов (по специальному заданию согласно геодезическому методу, описанному выше);
- необходимые характеристики грунтов, уровень подземных вод и их химический состав (если эти сведения отсутствуют в инженерно-геологических данных, — по специальному заданию).

Вблизи источников динамических нагрузок, которые вызывают колебания участков основания прилегающих зданий и сооружений, проводятся вибрационные обследования, в результате чего фиксируется возникновение новых дефектов.

Вибрационные обследования проводят в целях получения фактических данных об уровнях колебаний грунта и конструкций фундаментов зданий и сооружений при наличии динамических воздействий от:

- оборудования, установленного или планируемого к установке вблизи здания (сооружения);
- проходящего наземного или подземного вблизи здания (сооружения) транспорта;
- строительных работ, проводимых вблизи здания (сооружения);
- других источников вибраций, расположенных вблизи здания (сооружения).

Первичные результаты визуально-инструментальных наблюдений представляются в виде соответствующих ведомостей или графического материала, возможный вариант последнего приведен в прил. 8 настоящего пособия.

В качестве примера можно привести объект, расположенный в историческом центре Москвы в условиях плотной застройки на участке строительства по адресу: ул. Малая Никитская, д. 15. На этой территории планировалось строительство нового 6-этажного здания с включением в его объем сохраняемого уличного фасада от старого снесенного дома. К строительной площадке примыкают четыре здания, являющиеся историко-архитектурными памятниками. Под новым зданием планировалось устройство двух уровней подземной автостоянки глубиной около 8-ми метров, для чего предполагалось пройти котлован соответствующей глубины под защитой шпунтового ограждения. Было установлено, что в пределах сжимаемой толщи грунтов, под фундаментами зданий, примыкающими к строительной площадке, залегают аллювиальные песчаные грунты средней крупности с гравием, реже крупные, как правило, средней плотности с модулем общей деформации, равным 32 МПа. Схема строительной площадки показана на рис. 3.6.

Также проведено инженерное обследование зданий, попадающих в зону влияния. Результаты обследования показали, что практически все здания находятся в неудовлетворительном и предаварийном состоянии. За зданиями, начиная с июля 2004 г., был установлен геодезический мониторинг. Строительные работы на площадке были начаты в сентябре 2007 г. с усиления грунтов основания и фундаментов, а также несущих конструкций металлоконструкциями сохраняемой части дома № 15 по ул. Малая Никитская. Вертикальные деформации, зафиксированные на наблюдаемых зданиях, к этому времени лежали в пределах $-3,1$ — $-5,5$ мм. Проходка скважин диаметром 377 мм, глубиной 18 м для установки шпунтового ограждения (следующий этап строительства) осуществлялась в октябре 2007 г. шнековым бурением, вместо предусмотренного проектом колонкового.

При выполнении этих работ был отмечен прогрессирующий рост осадок, значения которых к концу октября 2007 г. лежали уже в пределах $-2,5$ — $-90,8$ мм (см. рис. 3.6). Рост осадок сопровождался трещинообразованием в фасадных стенах зданий, примыкающих к строительной площадке. Строительство было приостановлено и было решено в кратчайшие сроки про-

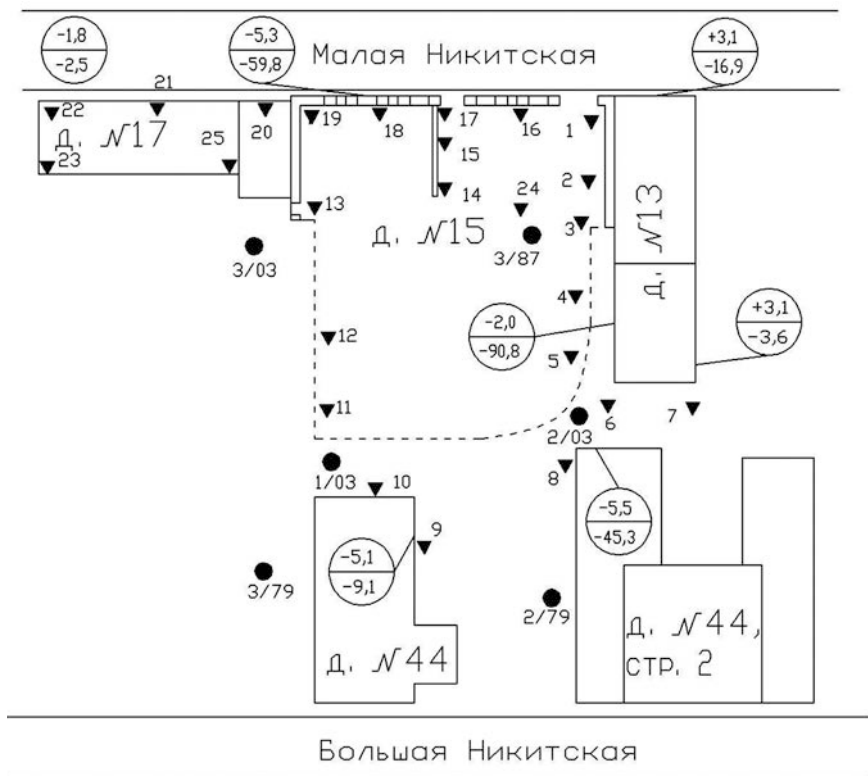


Рис. 3.6. Схема строительной площадки по адресу ул. Малая Никитская, д. 15 с примыкающими к ней зданиями и расположением инженерно-геологических скважин и точек электродинамического зондирования (ЭДЗ):

- ▼ — точка ЭДЗ и ее номер;
- — инженерно-геологическая скважина, ее номер и год проходки;
- - - — контур проектируемого котлована;
- — сохраненные части снесенного здания;
- — — контуры существующей застройки;
- $\begin{matrix} -5,1 \\ -9,1 \end{matrix}$ — осадка за цикл;
- $\begin{matrix} -5,1 \\ -9,1 \end{matrix}$ — суммарная осадка

вести оценку вероятных изменений физико-механических свойств грунтов оснований в пределах сжимаемой толщи непосредственно у фундаментов отмеченных выше строений. Поставленная задача решалась методом электродинамического зондирования в 25 точках, расположенных на площадке в лидерных скважинах глубиной 2,5–4,0 м, пройденных сквозь толщу насыпных грунтов (рис 3.7). Глубина зондирования достигала 11 м. Полученные результаты свидетельствовали о том, что практически на всех участках, где проводились работы по проходке глубоких лидерных скважин, появился новый, ранее не фиксировавшийся инженерно-геологический элемент (ИГЭ) — рыхлые пески средней крупности, реже крупные (см. рис. 3.7).

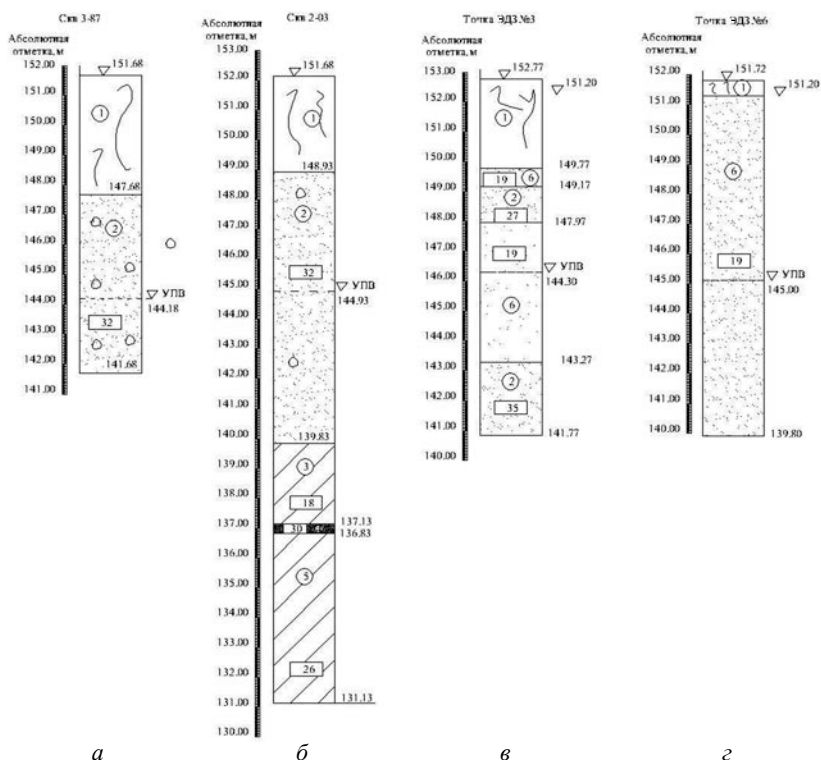


Рис. 3.7. Колонки инженерно-геологических скважин, пройденных в 1987–2003 гг. (а и б) и инженерно-геологические колонки по данным ЭДЗ № 3 (в) и ЭДЗ № 6 (г), полученные на той же площадке в декабре 2007 г.:

- 18 — значения E , МПа; ① — насыпной грунт;
- ② — пески средней крупности с гравием, средней плотности;
- ⑥ — пески средней крупности с гравием, рыхлые; ⑤ — глины пылеватые полутвердые;
- ③ — глины пылеватые тугопластичные; ④ — пески пылеватые твердые



Рис. 3.8. Противоаварийные мероприятия на здании у кромки котлована



Рис. 3.9. Усиление песчаных грунтов основания способом инъецирования растворов с тонкодисперсным цементом

Из анализа материала, полученного по всем точкам ЭДЗ на площадке, следовало, что в пределах сжимаемой толщи произошло существенное, в 1,8 раза, снижение значения E_0 вследствие разуплотнения песков средней плотности.

В связи с недопустимой величиной дополнительной садки и значительными повреждениями зданий были проведены противоаварийные мероприятия в виде усиления наземной части с последующим усилением фундамента (рис. 3.8).

При недопустимой величине прогнозируемой осадки или стабилизации осадок в процессе строительства выполняется усиление основания фундаментов здания. Это усиление может выполняться различными способами, в зависимости от инженерно-геологических условий и действующих нагрузок: цементацией грунтов, устройством буроинъекционных свай, силикатизацией, смолизацией грунтов и т.д. На рис. 3.9 приведены результаты усиления песчаных грунтов путем цементации раствором с тонкодисперсным вяжущим в основании зданий в центре Москвы. Контроль качества усиления проводился путем откопки шурфов и отбора проб грунтоцементного массива.

3.1.3. Тензометрический метод

Тензометрические наблюдения предназначены для дистанционного автоматического контроля приращения деформаций (смещений) и усилий в строительных конструкциях, а также в грунтах оснований наблюдаемых зданий и контроля уровня грунтовых вод (УГВ). Эта система должна обеспечить контроль состояния несущих конструкций здания, грунтов основания и УГВ, а также выдачу рекомендаций по обеспечению безопасного функционирования комплекса наблюдаемых объектов. Система тензометрического мониторинга в общем случае осуществляет:

- сбор данных от датчиков;
- обработку полученных данных с оценкой показателей, характеризующих состояние наблюдаемых объектов;
- информацию диспетчерской службы объекта о критически важном ухудшении геотехнической ситуации.

Функционирование описанной выше системы происходит с помощью наблюдательной станции (НС), устройство которой в соответствии с [11] (см. [11, п. 12.10]) является обязательным для сооружений I уровня ответственности, при III категории сложности инженерно-геологических условий, а в других случаях ее установка осуществляется по специальному заданию. НС обычно включает:

- блок питания (БП);
- блок управления (БУ);
- датчики (Д), измеритель (И);
- диспетчерский центр (ДЦ);
- контроллер измерителя (КИ);
- канал связи измерителя (КСИ);
- программное обеспечение (ПО);
- комплекс GSM (название стандарта мобильной связи, применяемой для передачи информации и команд в комплексе).

НС должна обеспечивать непрерывный режим функционирования как в штатной ситуации, так и в аварийной, в том числе при понижении питания ниже критического. Вариант схемы НС показан в прил. 9.

Непосредственный контроль за наблюдаемым параметром (перемещение, усилие, температура и т.п.) осуществляется при помощи датчиков (Д), а функция математической обработки сигнала датчика выполняется КИ, который передает их в БУ по соответствующей команде от него. В БУ также происходит сохранение результатов опроса и сравнение измеренных значений с допустимыми. Из БУ соответствующий сигнал поступает в ДЦ, который может быть достаточно удален от объекта наблюдения. Питание системы осуществляется от БП, который обеспечивает сетевое напряжение (обычно 220 В). ДЦ укомплектован компьютерным сервером, подключенным к сети Интернет (выделенный IP-адрес) через аппаратный роутер и имеющим внешний GSM-модем для связи с объектами мониторинга. В случае временного отсутствия напряжения в сети БП автоматически переключаются на питание от встроенного аккумулятора. Также в БП должны быть предусмотрены стабилизатор напряжения и защита от импульсных помех.

В качестве датчиков широкое применение получили струнные потенциометрические и оптоволоконные датчики для измерения деформаций и усилий, а также различные конструкции наклономеров, инклинометров, электрических трещиномеров, датчиков температуры. Эти датчики могут как встраиваться в наблюдаемые конструкции, так и располагаться на их поверхностях. Каждый датчик должен быть отградуирован таким образом, чтобы обеспечить измерения значений α в диапазоне $\alpha < \alpha_p$ — $\alpha > \alpha_{\text{доп}}$. Места установки датчиков выбираются на основе анализа результатов компьютерного моделирования, которое осуществляется при разработке проекта (программы) мониторинга.

Обработка данных мониторинга и их анализ осуществляются с помощью ПО. Результаты могут выдаваться как в электронном, так и в бумажном варианте в виде накопительных ведомостей, приведенных в прил. 7, а также отображаться на дисплее монитора диспетчера в цветах шкалы, показанной на рис. 2.1.

В качестве примера приведем результаты анализа данных мониторинга за напряженным деформированным состоянием фундаментов здания «Меркурий Сити Тауэр».

По проекту организации геотехнического мониторинга за фундаментными конструкциями, разработанному на объекте «Меркурий Сити Тауэр», в фундаментной плите и сваях установлено 186 датчиков (73 датчика в плите фундамента, 97 датчиков в сваях, 16 датчиков в основании фундаментной плиты).

Датчики (измерительные преобразователи) устанавливались только на 14 сваях (9 % всех свай) типа БСИ1500-20 и охватывали примерно 37 % площади всей плиты (по 14-ти точкам).

После проверки датчиков на наличие брака работоспособными по состоянию на 11.07.2011 г. считались 128 датчиков (68,7 % от их начального количества).

На основании оценки данных тензометрического мониторинга свай и плиты с марта 2008 г. по июль 2011 г. установлено, что:

- приращения и изменения в показаниях датчиков в плите и сваях наблюдались с марта по конец декабря 2008 г., при этом показания 20 % датчиков, установленных в сваях, противоречивы, они существенно превышают сопротивление бетона сжатию, остальные датчики в сваях выдают данные, не превышающие своих расчетных значений;

- давление в основании свай на порядок меньше своих расчетных значений; это, очевидно, является следствием того, что в строительный период нагрузки на грунт передавались не только через острие свай, но и через трение грунта об их боковую поверхность;

- большинство графиков развития изгибающих моментов в плите в зависимости от времени носят волнообразный характер, что, очевидно, является следствием изменения усилий в плите в зависимости от роста нагрузки и включения в работу надфундаментной конструкции;

- отмечаемая симметричность большинства графиков говорит о том, что верхнее волокно плиты работает на сжатие, а нижнее — на растяжение;

- возникающие напряжения в арматуре фундаментной плиты не превосходят расчетного сопротивления стали сжатию/растяжению;

- 9 % показаний напряжения в бетоне, в верхней зоне плиты, превосходят расчетное сопротивление бетона сжатию;

- во всех исследуемых точках давление под фундаментной плитой не превосходит расчетного значения.

Из совместной оценки результатов тензометрического и геодезического мониторингов следует, что напряженно-деформированное состояние плиты в исследуемой части (37 % от ее площади) носит сложный характер. Например, наряду с четко выраженными зонами сжатия в верхней части плиты и зонами растяжения в нижней в них локально встречаются области противоположных знаков.

В большинстве случаев зафиксированные величины не превышали своих расчетных значений и по состоянию на 3-й квартал 2011 г. опасности для здания не представляли. Однако, принимая во внимание наличие отдельных «аномальных» зон с противоречивыми показаниями датчиков, при дальнейшей работе следует расширить аналитическую составляющую мониторинга за счет использования компьютерного моделирования, учитывающего особенности работы фундаментной конструкции и основания при поэтапном росте этажности здания. При этом следует принимать во внимание, что будет иметь место и обратная связь, а именно, влияние НДС фундамента на НДС надфундаментного каркаса.

3.1.4. Динамический метод

Этот метод разрабатывался для контроля динамических параметров (передаточных функций, периодов основных тонов собственных колебаний, логарифмических декрементов колебаний) несущих конструкций высотных зданий [28], однако ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния (см. [10, разд. 6]) рекомендует использовать его при обследовании любых зданий и сооружений. Указанные выше динамические параметры косвенно характеризуют НДС строительных конструкций наблюдаемого строения.

Для реализации мониторинга здания в определенные места несущих строительных конструкций, подготовленные и защищенные от несанкционированного доступа, в соответствии с проектом и по согласованной с заказчиком схеме устанавливают инженерную станцию, т.е. конкретные измерительные приборы. Акселерографы устанавливают вблизи центра масс здания через каждые пять этажей, начиная с нижнего подземного этажа, наклонометры — на нижнем подземном этаже, по одному в торцах фундаментной плиты вдоль горизонтальных осей здания и по два в центре фундаментной плиты вдоль горизонтальных осей. Измерительные приборы подсоединяют к проложенным линиям связи. Через адаптер к той же линии связи, заканчивающейся в диспетчерской высотного здания или комплекса высотных зданий, подключают персональный компьютер, обеспечивающий работу всей измерительно-анализирующей системы.

Первый этап мониторинга деформационного состояния несущих конструкций здания предусматривает получение первоначальных передаточных функций для конструкций, расположенных между измерительными пунктами станции, получение первоначальных наклонов здания в точках измерений, установку реперов для контроля движения

основания и обследование состояния основания здания с помощью георадарной съемки.

Последующие этапы включают получение передаточных функций для конструкций, расположенных между измерительными пунктами станции, и сравнение их с аналогичными полученными ранее передаточными функциями, получение наклонов здания в точках измерений и сравнение их с ранее полученными наклонами, обследование состояния основания здания с помощью измерений перемещений установленных реперов и георадарной съемки.

На каждом этапе на основе анализа изменения передаточных функций выдается заключение об изменении напряженно-деформированного состояния конструкций, расположенных между измерительными пунктами станции. На основе анализа изменения наклонов здания вдоль горизонтальных осей выдается заключение о тенденции изменения наклона здания вдоль его горизонтальных осей.

В соответствии с [10] (см. [10, п. 6.2.5]), если при повторном измерении динамических параметров их результаты различаются более чем на 10 %, то техническое состояние всего здания или его участка подлежит детальному обследованию геодезическим и визуально-инструментальными методами, описанными выше. Возможный вариант размещения датчиков и станции динамического мониторинга для высотного здания показан в прил. 10 настоящего пособия.

При более подробном рассмотрении необходимо изучить не только частоты собственных колебаний, но и особенности реакции на сейсмические воздействия отдельных элементов зданий для выявления слабых мест и дефектов, которые возникают при длительной эксплуатации, а также брака при строительстве.

Так, для подробного обследования здания на сейсмическое воздействие требуются детальные наблюдения в его объеме. Идеальным случаем будет являться установка по всем этажам трехкомпонентных сейсмоприемников с шагом в первые единицы метров и запись сейсмических событий такой сетью наблюдений. При наличии таких материалов можно обеспечить всестороннее подробное изучение особенностей поведения сооружений при сейсмических воздействиях и выявление ослабленных элементов конструкций для выдачи рекомендаций по их усилению. Провести такого типа наблюдения весьма затруднительно: требуется калиброванная аппаратура, имеющая несколько сотен сейсмических каналов.

В качестве источников колебаний, действующих в любой заданный момент, могут рассматриваться микросейсмы, которые всегда присутствуют, и реакцией на которые являются сейсмические колебания в здании.

Как отмечалось многими исследователями, колебания зданий и инженерных сооружений достаточно хорошо описываются моделью ли-

нейной системы. Это выражается в наличии на частотной характеристике исследуемого объекта резонансов (частот собственных колебаний). Именно на этих частотах происходит усиление приходящих колебаний от низа к верху здания, а внешние сейсмические воздействия, имеющие в себе эти частоты, наиболее опасны для таких сооружений.

Под воздействием микросейсм любое инженерное сооружение постоянно находится в колебательном процессе. Для детального обследования сооружения с использованием микросейсм идеально было бы создать плотную систему одновременной регистрации колебаний, но это не представляется возможным.

При системе наблюдений путем записи стоячих волн одновременная регистрация колебаний здания под воздействием микросейсм ведется в опорной точке и i -й точке (группе точек), затем i -я точка (группа точек) меняет свое положение, и вновь проводится регистрация сейсмических колебаний одновременно с колебаниями опорной точки.

Такой малоканальной аппаратурой можно детально охватить исследуемый объект. Сложность заключается в преобразовании разновременных наблюдений в разных точках здания в одновременную запись стоячих волн во всей системе наблюдений. На рис. 3.10 приведен общий вид сейсмостанции для проведения обследования.



Рис. 3.10. Общий вид сейсмостанции для проведения обследования:
1 — автономный регистратор «Байкал-АС»; 2 — сейсмоприемник А1632;
3 — сейсмостанция «Ангара»

В основу алгоритма получения из разновременных наблюдений в здании с одной опорной точкой данных одновременной регистрации одного и того же колебательного процесса в разных точках могут быть заложены следующие предположения о модели процесса колебаний в инженерном сооружении:

- При воздействии микросейсмических колебаний на здание (инженерное сооружение) отличия формирующихся в нем стоячих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, описываются линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

- При воздействии микросейсмических колебаний на здания отличия бегущих волн, зарегистрированных в двух произвольных точках, не могут быть описаны линейной системой, характеристика которой не зависит от времени.

- Линейные связи в изменениях стоячих волн, зарегистрированных в двух точках, существуют для каждой пары одноименных компонент регистрируемых колебаний.

В качестве примеров организации динамического мониторинга можно привести мониторинг высотных зданий «Меркурий Сити Тауэр» в Москве и «Ахмат Тауэр» в г. Грозный (рис. 3.11).

Целевыми параметрами наблюдений за каркасом зданий являются:

- колебания при ветровом воздействии с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- фактические динамические характеристики (период и форма колебаний) башни с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- фактические уровни демпфирования в здании с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- плановые перемещения от пульсационной составляющей ветровой нагрузки, которые определяются расчетным путем на основании данных системы динамического мониторинга и с помощью спутникового геодезического мониторинга.

В процессе периодического мониторинга, как правило, выполняется вибродиагностика несущих конструкций большепролетных покрытий с целью наблюдения за изменением собственных частот их колебаний. По характеру колебаний предположительно можно судить об изменении технического состояния несущих конструкций. Однако для объективной оценки необходимо иметь соответствующие критерии, которые обычно устанавливаются на основе опыта эксплуатации.

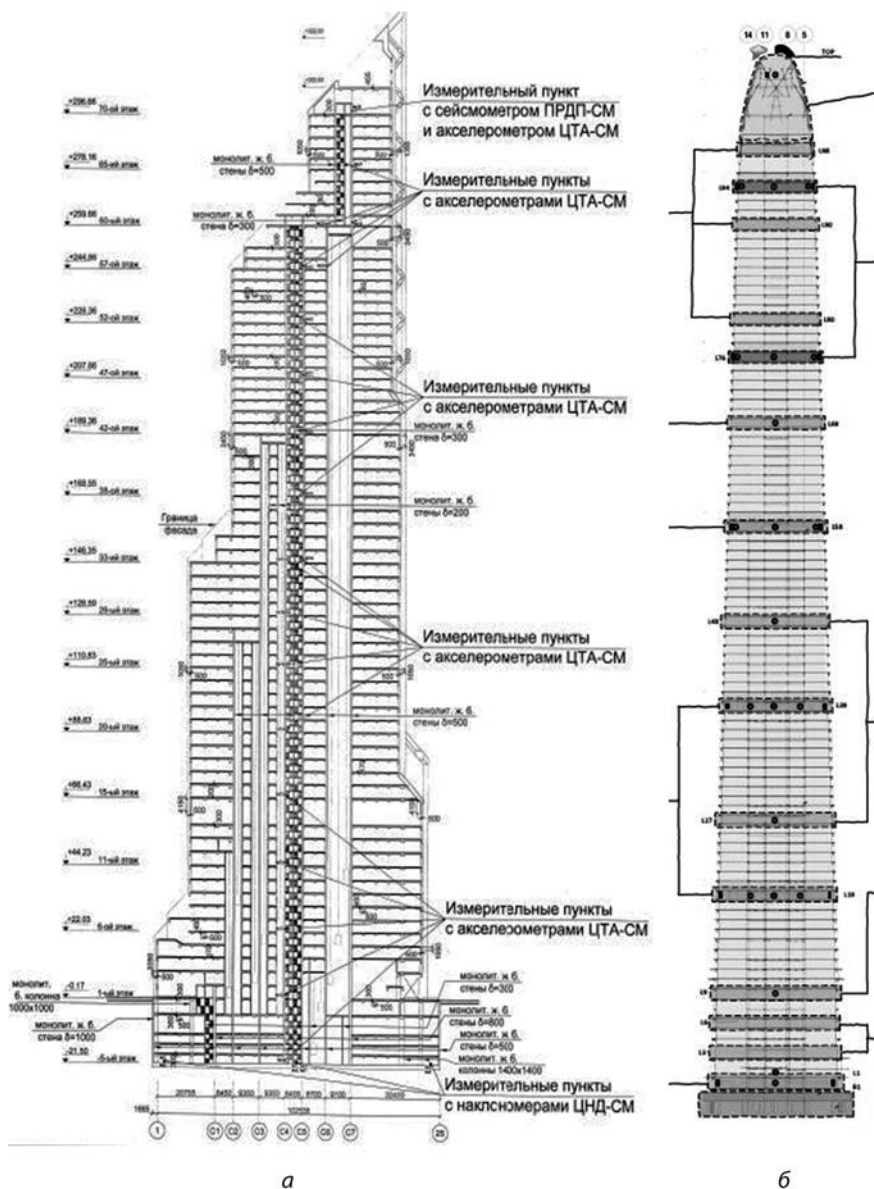


Рис. 3.11. Схемы установки датчиков для динамического мониторинга на зданиях «Меркурий Сити Тауэр» (а) и «Ахмат Тауэр» (б)

3.2. Гидрогеологический мониторинг

В соответствии с [18] (см. [18, п. 5.2.2.4]) гидрорежимная информация представляется дебитами, напорами, уровнями, химическим составом, температурой, качеством и физическим состоянием подземных вод, которые выражаются в относительных (нормированных) или абсолютных величинах.

Изменения водного режима осваиваемых территорий зависят от изменения режима:

- поверхностных вод;
- подземных вод при освоении подземного пространства;
- вод в зоне аэрации.

При контроле изменений режима поверхностных вод следует получить следующую информацию:

- об изменении естественного поверхностного стока, естественного рельефа при строительных и мелиоративных работах;
- об изменении естественного режима рек и водоемов, в том случае если эти водоемы находятся в непосредственной близости от строительной площадки;
- о техногенном изменении естественного режима при строительстве искусственных водоемов, подземных откачках, строительстве на сопредельных территориях и т.п.

При контроле изменения режима подземных вод следует обращать внимание на изменение УГВ вследствие барражного эффекта, откачек, работы дренажей, утечек техногенных вод и т.п.

При наблюдении за режимом в зоне аэрации следует учитывать изменение влажности:

- при инфильтрации;
- в результате тепловлагопереноса.

По специальному заданию гидрогеологический мониторинг может включать экологические элементы, например контроль над химическим составом, температурой, качеством и физическим состоянием подземных вод. Наблюдения за изменениями поверхностного водного режима и режима в зоне аэраций проводятся, как правило, на специально оборудованных балансовых площадках при помощи приборов, которые называются осадкомерами и размещаются обычно на дневной поверхности или близко от нее. Наблюдения за изменениями режима подземных вод ведутся по гидрогеологическим скважинам, оборудованным обсадными трубами с перфорацией в зоне контроля, защищенной от заиливания фильтром. В нижней части скважины располагается отстойник. Вариант такой скважины приводится в прил. 11 настоящего пособия. Скважина оборудуется датчиком уровня грунтовых вод, работающим в периодическом ручном режиме или автоматическом непрерывном. В случае

использования экологической составляющей скважина оснащается соответствующими датчиками, например температуры.

Сеть наблюдательных гидрологических станций создается по специально разработанному плану. В соответствии с [18] (см. [18, разд. 5.2.2.6]), перед созданием плана размещения наблюдательных сетей необходимо осуществить эколого-гидрогеологическое районирование, при помощи которого и ставятся наблюдательные точки мониторинга грунтовых вод.

Для решения этой задачи целесообразно в начале выполнить гидрогеологический прогноз. Основными этапами последнего являются [29]:

- оценка существующих гидрогеологических и инженерно-геологических условий участка строительства и прилегающей территории;
- создание геофильтрационной модели;
- непосредственно прогноз изменения гидрогеологических условий в период строительства и эксплуатации подземного сооружения;
- оценка вариантов защитных мероприятий в связи с возможными изменениями гидрогеологических условий.

В качестве примера приведем результаты оценки существующей гидрогеологической ситуации и гидрогеологического прогноза при освоении подземного пространства на площадке по адресу: Москва, Никитский бульвар, д. 6/20 (рис. 3.12, 3.13).

При подземном строительстве трехуровневой автостоянки затрагивается верхний аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт. Из результатов прогноза (см. рис. 3.12) следует, что при строительстве с северной стороны ожидается барражный эффект с подъемом воды до 2-х м, а с южной — понижение до 1,8 м. Во избежание подтопления территории было рекомендовано устройство дренажа.

В случае включения в программу гидрогеологического мониторинга в состав режимной сети для гидрохимического мониторинга, контроля и изучения загрязнения грунтовых вод при эколого-гидрогеологических исследованиях входят скважины специализированной наблюдательной сети, пункты гидрохимического отбора проб по эксплуатационным скважинам (дренажным, водозаборным), которые располагаются на естественных и техногенных поверхностных водотоках, водоемах, сбросах загрязненных вод, прудах-накопителях.

Расположение гидрохимической наблюдательной сети зависит от конкретных литолого-структурных особенностей и гидрогеологических условий, профильной фильтрационной анизотропии, зон гидравлического переноса загрязнения, действительной скорости фильтрации и дисперсионных эффектов рассеивания. Необходимо стремиться к совмещению пунктов гидрохимических наблюдений с пунктами гидродинамических наблюдений. Отбор проб и оценку загрязненности подземных вод следует выполнять в соответствии с пп. 4.31–4.39 СП 11–102. Более подробно об экологическом мониторинге см. разд. 3.4 настоящего пособия.



Рис. 3.13. Прогнозная карта изменения уровня подземных вод аллювиально-флювиогляциального водоносного горизонта при условии «стены в грунте» по периметру проектируемых сооружений (М1:2000):

-  — гидроизогипсы грунтовых вод в абс. отм., м;
-  — изолинии изменения уровня грунтовых вод, м;
-  — проектируемое сооружение

Изменение гидрогеологической ситуации на осваиваемой территории приводит к изменению состояния физико-механических характеристик грунтов основания, что в ряде случаев негативно сказывается на окружающей застройке и самом строящемся (реконструируемом) объекте. Контроль за грунтами основания реализуется в ходе выполнения работ в рамках блока геомеханического мониторинга, методика проведения которого рассматривается ниже.

3.3. Геомеханический мониторинг

Исходя из целей геомеханического блока мониторинга (см. разд. 1 п. «Блок геомеханического мониторинга») необходимо осуществлять:

- контроль деформаций и перемещений грунтового массива основания, попадающего в зону влияния нового строительства (реконструкции);
- наблюдение за изменением физико-механических свойств грунта.

Для реализации контроля деформаций и перемещений современные нормативы предлагают установить ПГМ на поверхностных слоях основания [10]. Это мероприятие дает возможность оценить планово-высотные отметки поверхности земли, но не позволяет выявить изменения физико-механических свойств грунтов во всем массиве основания. В этой связи более перспективным является установка глубинных геодезических марок (ГГМ) послойно. Это позволит оценить осадку каждого слоя грунта и при помощи обратного пересчета определить характеристики физико-механических свойств каждого исследуемого слоя.

Для оценки горизонтальных смещений грунта целесообразна установка гибких инклинометров, как это показано в прил. 12. При необходимости ГГМ и инклинометры могут быть включены в систему объектного мониторинга территории (см. разд. 3, подразд. «Объектный мониторинг»). Однако при всем этом необходимо предусматривать меры по обеспечению сохранности установленного оборудования.

Для реализации наблюдения за изменением физико-механических свойств грунта достаточно полную информацию дают геологические и геофизические методы, в частности зондирование и контактное динамическое зондирование [4; 30]. Последнее сочетает в себе методы динамического зондирования и токового коротажа. Метод удобен при использовании его в подвалах, котлованах, а также в любых других выемках. Этот метод не требует проведения дополнительных инженерно-геологических изысканий. При этом получается информация о фактическом состоянии физико-механических свойств грунта в конкретной точке наблюдений в его естественном залегании (см. рис. 3.6, 3.7). Следует отметить, что геофизические методы могут быть использованы при проведении работ объектного блока мониторинга (см. разд. 1, п. «Блок объектного мо-

ниторинга» настоящего пособия), выявляющего скрытые дефекты в стенах зданий, за которыми проводится наблюдение, а также позволяющего определить глубину заложения фундаментов без проходки шурфов.

3.4. Экологический мониторинг

Экологический мониторинг характеризуется следующими положениями:

- Создание пунктов наблюдения за функционированием стационарной сети, что требуется для решения задач, связанных с особенностями природной обстановки, с контролем путей миграции, аккумуляции и выноса загрязнений.

- Методика проведения наблюдений должна соответствовать требованиям ГОСТ, общегосударственных и ведомственных нормативно-правовых и инструктивно-методических документов.

- Временной режим, частота и длительность наблюдений устанавливается согласно характеру, интенсивности и длительности воздействий, условиям функционирования и сроку эксплуатации производственных сооружений, особенностям природной обстановки, определяющим скорость развития неблагоприятных воздействий и их возможные последствия.

- Стационарные наблюдения следует начинать на предпроектных стадиях и в дальнейшем корректировать, основываясь на полученных данных.

- Техническое обеспечение наблюдений подразумевает под собой предварительное проведение вспомогательных работ (бурение и обсадку скважин, оборудование реперной сети, наблюдательных постов и створов), установку и отладку аппаратуры и технических средств автоматической регистрации параметров.

- Результаты полевого отбора проб при мониторинге проходят обработку в лаборатории. Изменения состояния окружающей среды необходимо регистрировать непосредственно в природных условиях их существования в пределах зоны возможного воздействия.

При экологическом мониторинге следует также предусмотреть [18]:

- наблюдения за химическим загрязнением грунтов;
- оценку радиационно-экологической обстановки;
- газохимические исследования.

Оценивая степень химического загрязнения грунтов, нужно учитывать уровень опасности загрязняющих веществ, подразделяющихся на следующие классы:

- *1-й класс* — высокоопасные вещества (кадмий, ртуть, мышьяк, свинец, фтор, цинк, силен, бензапирен, фтор);

- 2-й класс — умеренно опасные вещества (никель, бор, кобальт, медь, молибден, хром, сурьма);
- 3-й класс — малоопасные вещества (вольфрам, барий, марганец, ванадий, ацетофенон, стронций).

При радиационно-экологических наблюдениях выполняют:

- дозиметрический анализ участка: оценку фоновых величин мощности эквивалентной дозировки гамма-излучения (МЭД ГИ) *Н* территорий строительства, выявление участков радиоактивного загрязнения, определение их размеров, вещественного (грунт, промышленные и медицинские источники ионных излучений и т.п.) и радионуклидного состава загрязнений, оценку возможных перемещений загрязняющих радионуклидов в грунтовой массе и в водонесущих горизонтах;
- измерение концентраций (удельной активности) радионуклидов в грунтах и почвах;
- анализ потенциальной радоноопасности участков строительства.

Территории, которые расположены в непосредственной близости от объектов, являющихся источниками радиационных сбросов и выбросов, места, на которых ранее были обнаружены участки радиационного загрязнения, незаконные свалки промышленных и бытовых отходов, а также техногенные отложения мощностью свыше 5 м считаются территориями, на которых наиболее вероятно обнаружение радиационного загрязнения и подлежат тщательному исследованию. Работы на таких участках необходимо вести с согласия территориального органа Госсанэпиднадзора.

Территории, на которых величина эквивалентной дозы на высоте 0,1 м от поверхности почвы превосходит значение 0,3 мкЗв/ч, являются участками радиоактивного загрязнения.

Основные источники загрязнения на территории Москвы — незаконные свалки радиоактивных материалов (загрязненных грунтов, твердотельных источников, растворов), которые располагаются в засыпанных понижениях естественного рельефа. Радионуклидный состав этих загрязнений может быть самым различным. Самыми распространенными являются грунты, которые содержат радий-226 (^{226}Ra) или цезий-137 (^{137}Cs), реже торий-232 (^{232}Th). Также можно встретить медицинские ампулы, которые могут содержать цезий или радий, или промышленные приборы с этими радиоактивными нуклидами.

Одной из крупнейших свалок радиоактивных материалов площадью порядка 10 га является Братеевская свалка в Москве. В грунтах местами можно обнаружить цезий-137 из атмосферных осадков в количестве 20–30 Бк/кг (беккерель на килограмм), хотя МЭД гамма-излучения на данных участках не превосходит фоновых показателей. Информацию о нахождении того или иного участка радиоактивного загрязнения необходимо немедленно передавать в МЧС, органы Госсанэпиднадзора, городскую и местную администрации, МосНПО «Радон» в установленном порядке.

Наиболее радоноопасной территорией считается та, на которой среднегодовой показатель эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе вблизи проектируемого объекта превосходит 100 Бк/м³.

Радоноопасность территории определяется плотностью потока радона из грунтов основания проектируемых сооружений, измеряемой на поверхности земли, и концентрациями радона в грунтах, слагающих участок строительства до глубины 10 м ниже отметки заложения подошвы фундамента. Территория относится к радонобезопасной в случае одновременного выполнения следующих условий:

- уровень радона в грунтах, слагающих территорию строительства до глубины 10 м ниже отметки заложения подошвы фундамента, не превышает 25 Бк/кг;
- средний предельный показатель плотности потока радона (ППР) с поверхности земли не превышает 80 мБк/(м²·с).

Таблица 3.1

**Содержание радионуклидов естественного происхождения
в грунтах, слагающих территорию Москвы**

Грунты	Литологический тип грунтов	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг							
		²²⁶ Ra				²³² Th			
		Ср. значение	Стандартн. отклонение	Миним. значение	Максим. значение	Ср. значение	Стандартн. отклонение	Миним. значение	Максим. значение
Глины	Q, K, J	20,3	4,7	11,6	42,6	29,9	6,1	13,2	49,2
Суглинки		15,6	3,2	10,0	26,5	23,7	5,5	11,0	37,4
Пески крупн., средн. и мелкие		7,0	2,3	3,0	14,4	10,5	3,0	6,1	16,2
Пески пылеватые		11,7	5,2	5,5	24,3	8,9	4,0	4,8	19,4
Известняки	C ₂₋₃	22,5	9,9	9,1	37,0	3,4	0,5	0,8	5,0
Глины мергелистые		12,7	5,4	5,2	21,0	19,4	7,3	10,2	35,3

Примечание. Среднее значение и диапазон изменения удельной активности ²²⁶Ra приведены без учета аномальных активностей в юрских глинах.

Если не выполняется хотя бы одно из условий, территория считается потенциально радоноопасной (возможна определенная вероятность завышенных показателей потоков радона из грунтового массива в подвал проектируемого сооружения). В таких случаях необходимо проводить дополнительные измерения ППР на отметках заложения подошвы фундамента проектируемого сооружения, чтобы разработать проект радонозащитных мероприятий. Непосредственным знаком радоноопасности участка являются также высокие значения ЭРОА ^{226}Ra (более 100 Бк/м^3) в воздухе помещений существующих сооружений, которые находятся в непосредственной близости от участка строительства. Исходя из этого, при проведении изысканий необходимо измерять показатель ЭРОА радона в сооружениях окружающей застройки.

На территории Москвы высокие значения плотности потока радона (ППР) с поверхности земли выявляются, как правило, на участках, где распространены покровные глины с относительно высокой концентрацией радона. Удельная активность радона может превышать 25 Бк/кг в юрской глине оксфордского и верхневолжского ярусов, в песчаных отложениях нижнего мела, где накопление урана и радия связано с фосфоритовыми конкрециями, а также в гравийно-галечниковых горизонтах аллювиальных и флювиогляциальных отложений. Таким образом, при проведении обследования этим грунтам следует уделять особое внимание. Содержание радионуклидов в грунтах Москвы показано в табл. 3.1.

Отбирая пробы на участках радиоактивного загрязнения, необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с радиоактивными веществами. Отбор проб необходимо осуществлять в резиновых перчатках. Отбираемые материалы следует герметично упаковывать в несколько полиэтиленовых пакетов. Оформленный сопроводительный лист необходимо помещать в последний пакет таким образом, чтобы он не касался отбираемого образца, и его можно было бы легко прочитать, не вскрывая пакет.

При изъятии пробы необходимо замерять и вносить в журнал показатель эквивалентной дозы гамма-излучения в точке взятия пробы на высоте 0,1 и 1 м от поверхности земли и непосредственно от пробы. Место взятия образца необходимо отмечать на рабочем плане.

При измерении ППР методом сорбции радона на активированном угле в контрольных точках устанавливаются накопительные камеры с активированным углем. Время экспонирования камер составляет 4 ч. После этого камеры собирают и отправляют в лабораторию. Момент времени установки и снятия накопительных камер, а также сведения, важные для достоверных результатов измерений (характер поверхности участка, наличие и характер атмосферных осадков, температура и относительная влажность воздуха, атмосферное давление), заносятся в полевой журнал.

Газохимические исследования на территории города проводят в связи с тем, что существует возможность обнаружения на участке строительства

объекта грунтов, которые способны вырабатывать биогаз. Такими грунтами являются насыпные грунты с включениями бытовых отходов и строительного мусора, грунты с высоким содержанием торфа, ил, осаждаемый из сточных вод. К основным компонентам, составляющим биогаз, относятся метан CH_4 (до 40–60 % объема) и углекислый газ CO_2 (двуокись углерода); примесями могут являться тяжелые углеводородные газы, окислы азота, угарный газ, аммиак, сероводород, молекулярный водород и другие токсичные и горючие компоненты.

Биогаз сорбируется грунтами, в которых он содержится, растворяется в грунтовых водах и диссипирует в околоземную атмосферу.

Газогеохимические исследования включают в себя:

- поверхностные газовые съемки различных типов (эмиссионная, шпуровая), состоящие, в частности, из отбора проб грунтового воздуха и околоземной атмосферы;
- газогеохимические исследования, осуществляемые из скважин (с отбором проб грунтового воздуха из каждого слоя, самих грунтов, грунтовых вод);
- исследования состава грунтового воздуха, газовой фазы грунтов, растворенных газов и биогаза, диссипирующего в околоземную атмосферу (проводятся, как правило, в лаборатории).

Газогеохимические исследования, осуществляемые из скважин, включают послойный отбор проб (в зависимости от изменений литологического состава насыпных грунтов, состава примесей и обводненности):

- грунтового воздуха из скважины;
 - грунтов — для определения уровня газонасыщенности и газогенерационной способности;
 - грунтов — с целью проведения микробиологического анализа, определяющего активность метанооксиляющей и метаногенерирующей микрофлоры;
 - грунтовых вод — для определения содержания растворенного биогаза.
- В лаборатории изучается компонентный состав:
- газовой фазы грунтов;
 - грунтового воздуха;
 - растворенных газов;
 - биогаза, рассеивающегося в приземную атмосферу.

Отдельным этапом в экологическом блоке геотехнического мониторинга при необходимости могут стать исследования техногенных полей, в частности тепловых. Последние целесообразно организовать в местах прохождения теплотрасс. Это позволяет выявить не только состояние теплоизоляции коммуникаций, но и места утечек горячей воды. Влияние техногенных тепловых воздействий на характеристики грунтов можно изучать, сравнивая результаты моделирования температурных, прочностных и деформационных свойств грунтов, определенных при геологических изысканиях.

Для оценки влияния теплотрасс на физико-механические свойства глинистых грунтов, оконтуривания зоны существенного влияния теплотрассы на свойства грунтов можно использовать статическое зондирование.

Места статического зондирования необходимо располагать ортогонально оси теплотрассы на различном удалении так, чтобы статическое зондирование было проведено в границах зоны влияния теплотрассы и за ее пределами.

Статическое зондирование позволяет выявлять области замачивания или высушивания грунтов по изменениям лобового сопротивления грунтов и области снижения прочностных показателей по изменениям лобового и удельного бокового сопротивления грунтов. Показатели удельного бокового сопротивления грунтов при зондировании являются более чувствительными (в сравнении с показателями лобового сопротивления) к изменениям свойств грунтов при тепловых воздействиях.

3.5. Расчетно-аналитический блок

Расчетно-аналитический блок геотехнического мониторинга включает:

- оценку результатов математического моделирования (сопоставление величин дополнительных деформаций фундаментов самого реконструируемого объекта и окружающих зданий, а также деформаций массива грунта с допустимыми величинами, сопоставление величин изменения уровня грунтовых вод с данными гидрогеологического прогноза);
- анализ результатов обследования состояния реконструируемого объекта, включая заглубленную часть, или примыкающего подземного сооружения, окружающих его строений и измерений их деформаций;
- прогноз поведения самого реконструируемого объекта и окружающих его зданий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Создать математическую модель несущих конструкций здания или сооружения.
- Откалибровать модель на основании натурных экспериментальных данных для обеспечения ее адекватности.
- Выполнить статические расчеты при условиях нормальной эксплуатации конструкции (от нормативных нагрузок) и экстремальных условиях (от расчетных нагрузок) для идентификации и оценки параметров, контролируемых в процессе мониторинга.
- Провести динамические расчеты — модальный анализ и вибродиагностику — для прогнозирования и анализа соответствующих экспериментальных данных.
- Выполнить динамические расчеты с целью идентификации типовых сценариев повреждений и соответствующих изменений контролируемых параметров конструкций.

Система непрерывного мониторинга строительных объектов характеризуется специфическими особенностями и потому требует специальных научно-технических проработок. Такая система должна иметь высокий уровень долговечности, надежности и достоверности собираемой информации о состоянии несущих конструкций. Эти требования определяются тем, что строительные объекты, особенно уникальные, рассчитаны на длительный срок эксплуатации, измеряемый десятками и даже сотнями лет, а события, приводящие к авариям, имеют весьма малую вероятность, измеряемую десятками и даже тысячными долями процента.

Следует также отметить существенную особенность расчетов при создании системы мониторинга инженерных конструкций (СМИК) по сравнению с расчетами, выполняемыми в процессе проектирования несущих конструкций. При проектировании необходимо обеспечить надежность конструкций в условиях статистической неопределенности расчетных параметров, что зачастую компенсируется заданием определенных запасов и резервированием расчетных схем. В расчетах, сопровождающих создание СМИК, в том числе экспериментальные исследования, расчетные схемы и прикладываемые нагрузки должны соответствовать проектируемым и возводимым конструкциям. Все эти особенности требуют углубленного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований для обеспечения их достоверности.

При проектировании учитываются все возможные ситуации нормальной и экстремальной эксплуатации, включая исследования на живучесть при чрезвычайных событиях. Однако сложность учета таких событий заключается в их непредсказуемости. Именно для этого организуется мониторинг во время эксплуатации сооружения.

Для определения критериальной политики в рамках расчетно-аналитического исследования рассматривается ряд тестовых повреждений и загрузений конструкции покрытия. Если речь идет о динамическом мониторинге и мгновенных воздействиях, то изучается соответствующий динамический отклик по собственным частотам колебаний.

В качестве примера приведем операции по анализу результатов мониторинга за напряженно-деформированным состоянием грунтов основания и фундаментов здания «Меркурий Сити Тауэр».

Расчетно-аналитический мониторинг подземной части высотного здания «Меркурий Сити Тауэр» позволил сделать следующие выводы, которые можно использовать при дальнейшей эксплуатации объекта и при проектировании ему подобных:

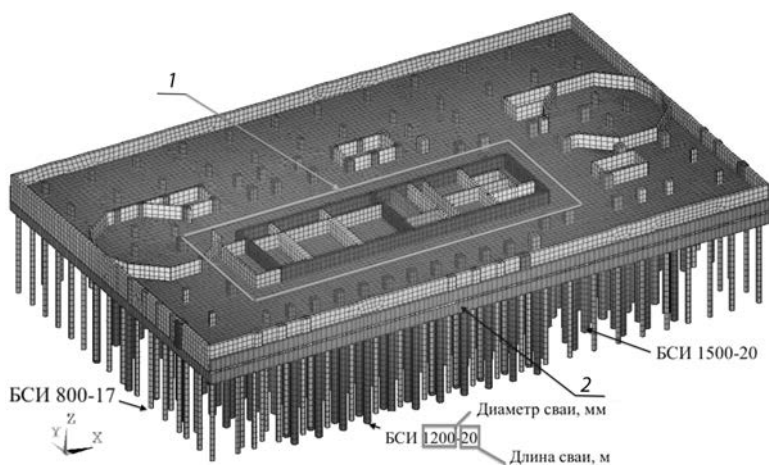


Рис. 3.17. Общий вид расчетной модели фундаментных конструкций здания «Меркурий Сити Тауэр»: 1 — центральное ядро; 2 — плитный ростверк

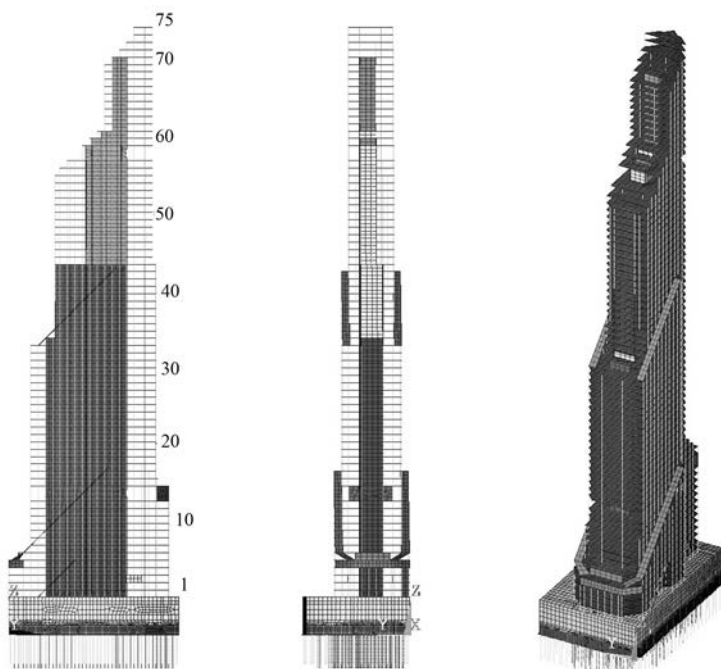


Рис. 3.18. Внешний вид расчетной модели здания

- Разработана расчетная пространственная модель (3D) (рис. 3.17 и 3.18) и выполнен расчет НДС фундамента с учетом поэтапности возведения каркаса здания.

- Расчет позволил установить расчетные значения контролируемых параметров на каждом рассматриваемом этапе, совместно с данными мониторинга оценить НДС и действительную работу фундаментных конструкций в зоне центрального ядра, а также определить изменение и действительную работу фундаментных конструкций на не охваченных мониторингом участках.

- Расчетные деформации, полученные в ходе расчета с учетом поэтапного нагружения, сопоставимы с наблюдаемыми деформациями, что свидетельствует о правильности выбранной расчетной схемы и верно вычисленных параметрах жесткости основания. На 1-м этапе нагружения начинает формироваться «чаша проседания», при этом максимальные деформации составляют $-2,9$ мм (рис. 3.19). Однако эта «чаша проседания» на 1, 2-м этапах находится вне центрального ядра и контура высотной части вследствие более низкой жесткости основания по сравнению с центральным ядром при симметричном нагружении. Начиная с 3-го этапа «чаша» начинает «переползать» под высотную часть вследствие роста нагрузок от надфундаментных конструкций и смещения центра тяжести здания (рис. 3.20).

- Совместный анализ результатов расчета внутренних усилий в сваях и данных тензометрического мониторинга позволил установить следующее:

- осевое усилие изменяется по длине свай: вблизи низа фундаментной плиты (сечение 5 м) действуют максимальные усилия, которые уменьшаются к острию сваи (сечение 15 м). В среднем 71 % нагрузки на грунт передается через трение по боковой поверхности сваи, остальные 29 % — через острие сваи. Работа свай на трение боковой поверхности о грунт подтверждается данными мониторинга (рассчитанными продольными усилиями по показаниям датчиков типа ПСАС и ПЛДС), которые сопоставимы с результатами расчета практически на всех этапах нагружения;

- по установленным в сваях датчикам относительной деформации в бетоне фиксировались напряжения, существенно превышающие расчетное сопротивление бетона сжатию, что не являлось следствием действия внешних нагрузок, а было вызвано усадочными напряжениями и напряжениями ползучести бетона, так как предельные значения по датчикам достигнуты в первые 9 месяцев наблюдений, когда еще не были окончены работы 0-го цикла;

- имеющиеся отдельные расхождения между расчетными усилиями и данными мониторинга не были связаны с неточностью расчета, а были обусловлены погрешностью при расчете усилия по показаниям датчиков в сечении ввиду их малого количества (один датчик в сечении на 40 арматурных стержней).

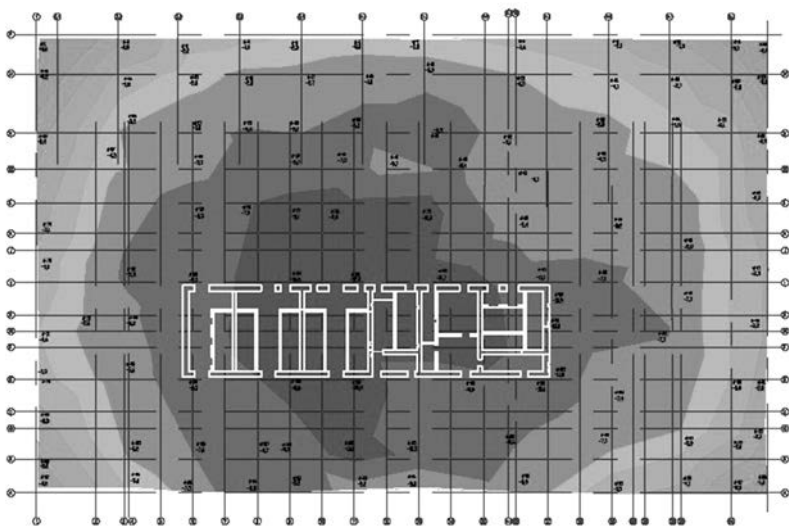


Рис. 3.19. Изополя осадок фундаментной плиты на 1-м этапе нагружения (возведение подземной части)

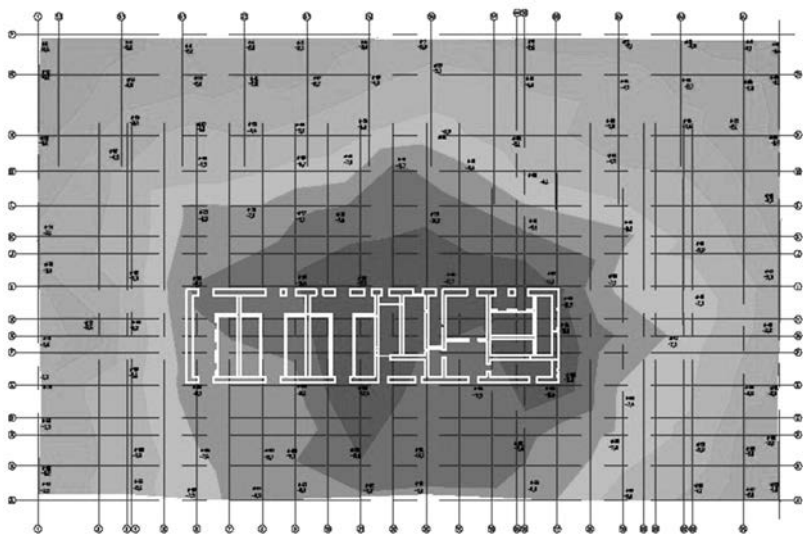


Рис. 3.20. Изополя осадок фундаментной плиты с 3-го этапа нагружения (возведение высотной части)

Большинство получаемых данных тензометрического мониторинга свай следует считать достоверными и отражающими их реальную работу как на отдельных этапах, так и при полностью возведенном каркасе. Исключением являются первые два этапа, результаты расчета по которым не сопоставимы с данными мониторинга, так как на первоначальной стадии строительства на показания датчиков оказывали существенное влияние внутренние напряжения вследствие усадки и ползучести бетона.

В дальнейшем следует продолжить анализ данных по датчикам, установленным в сваях. При этом анализ следует вести с использованием расчетных значений, полученных при расчете в пространственной постановке для каждого этапа нагружения. Также следует оценивать состояние свай в периферийных частях фундаментных конструкций, не охваченных мониторингом. Это может быть сделано при применении экспериментально-расчетного подхода, использованного в настоящей работе.

Критерии мониторинга с учетом фактической работы свай по данным мониторинга и расчетной пространственной модели при полном нагружении нуждаются в корректировке, так как каждому сечению сваи (на 5 и 15 м) соответствует определенное усилие по расчету.

Анализ результатов мониторинга с использованием пространственной (3D) расчетной модели показал, что ни на одном этапе нагружения внутренние усилия в сваях (по расчету и данным мониторинга) не превысили расчетных значений.

- Проектирование фундаментных конструкций выполнялось из условия, что 100 % нагрузки передается на грунт через острие свай, а предельно допустимые величины внутренних усилий для мониторинга назначены по данным проекта [31; 15]. В связи с этим, учитывая результаты выполненного расчета и данные мониторинга, целесообразно пересмотреть предельно допустимые величины внутренних усилий отдельно для сечений сваи на глубине 5 и 15 м.

- Совместный анализ результатов расчета внутренних усилий в фундаментной плите, выполненного в рамках настоящей работы, и данных тензометрического мониторинга позволил установить следующее:

- в целом качественное распределение внутренних усилий в фундаментной плите по результатам пространственного контрольного расчета совпадает с данными расчета, выполненного при проектировании. Однако все же имеются некоторые различия в характере распределения усилий и разница в величинах действующих усилий;

- области действия максимальных усилий в действительности имеют несколько иные контуры распространения, а пиковые значения смещены в плане; в результате ряд точек плиты, оборудованных контрольно-из-

мерительной аппаратурой (КИА), оказывается вне действия максимальных усилий;

- определенные по расчету внутренние усилия в плите сопоставимы с усилиями, вычисленными по показаниям датчиков, имеющиеся отдельные расхождения между расчетными усилиями и данными мониторинга не связаны с неточностью при расчете, а обусловлены погрешностью при расчете усилия по показаниям датчиков в сечении ввиду их малого количества.

При помощи расчета с учетом роста этажности здания подтверждена достоверность показаний датчиков при полностью возведенном каркасе. На первоначальной стадии строительства на показания датчиков оказывали существенное влияние внутренние напряжения вследствие усадки и ползучести бетона. В дальнейшем следует продолжить анализ данных, полученных с датчиков, установленных в плите, но критерии мониторинга по расчетным значениям нуждаются в корректировке по результатам выполненного расчета. При этом анализ следует вести с использованием значений, полученных при расчете в пространственной постановке для каждого этапа нагружения. Также следует оценивать состояние плиты в периферийных частях фундаментных конструкций, не охваченных мониторингом.

- По результатам анализа контактных напряжений установлено следующее:

- показания датчиков давления в основании свай не являются объективными, так как противоречат результатам проведенного расчета и показаниям датчиков усилий в арматуре и деформаций бетона, установленных в теле свай;

- согласно расчету давление на подошве фундаментной плиты в точках КИА по своей величине сопоставимо с давлением на подошве свай. Такая же особенность наблюдается и по данным мониторинга, за тем исключением, что по датчикам ГД рассматриваемое давление на порядок меньше, чем по данным расчета;

- в среднем по данным мониторинга и результатам расчета 84 % нагрузки передается на грунт через контактные поверхности свай (острие и боковую поверхность), остальные 16 % — через подошву фундаментной плиты.

- Использованный в работе экспериментально-аналитический подход позволил оценить особенности формирования НДС участков плиты и свай, в том числе на не охваченных мониторингом участках. По результатам анализа работы фундаментных конструкций вне центрального ядра установлено следующее:

- качественно и количественно вертикальные деформации периферийной части фундаментной плиты по результатам поэтапного расчета совпадают с данными геодезического мониторинга;

- в целом изменение продольных усилий в сваях характеризуется закономерным приращением на протяжении всех 12-ти этапов.

При этом учитывалось:

- трение боковой поверхности свай о грунт;
- жесткость грунтового основания в основании свай и по их длине;
- жесткость грунтового основания в уровне низа фундаментной плиты (ростверка);

- поэтапность возведения здания;
- влияние роста этажности (жесткости надфундаментных конструкций) на распределение усилий в фундаментных конструкциях.

В результате расчета определены:

- усилия в сваях и фундаментной плите с учетом реальной работы фундаментных конструкций совместно с основанием;

- динамика изменения напряженно-деформированного состояния фундаментных конструкций в зависимости от роста этажности высотного здания и нагрузок;

- усилия в массиве грунта под фундаментной плитой и низом свай.

Библиографический список

1. ТСН 50-302–96. Устройство фундаментов гражданских зданий и сооружений в Санкт-Петербурге и на территориях, административно подчиненных Санкт-Петербургу. Территориальные строительные нормы / Администрация Санкт-Петербурга. СПб, 1997.
2. МГСН 2.07–97. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Московские городские строительные нормы / Правительство Москвы. М., 1998.
3. Рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции / Правительство Москвы ; Москомархитектура. М., 1998.
4. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение реконструкции городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин. М. : АСВ, 1999.
5. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. 4-е изд., перераб. и доп. / П.А. Коновалов. М. : Бумажная Галерея, 2000.
6. Ильичев В.А. Особенности геомониторинга при возведении подземных сооружений в условиях тесной городской застройки / В.А. Ильичев, П.А. Коновалов, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1999. №4.
7. МГСН 2.07–01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Московские городские строительные нормы / Правительство Москвы. М., 2003.
8. ТСН 50-302–2004. Территориальные строительные нормы / Администрация Санкт-Петербурга. СПб, 2004.
9. ГОСТ Р 54257–2010. Надежность строительных конструкций и оснований / Стандартинформ. М., 2011.
10. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Межгосударственный стандарт / Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) ИНТКС. М., 2012.
11. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*) / Минрегион России. М., 2010.
12. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федер. закон РФ № 384-ФЗ от 30.12.2009.

13. *Тер-Мартirosян З.Г.* Диалоги о мониторинге / З.Г. Тер-Мартirosян, А.П. Неугодиных, А.П. Николаев [и др.] // Технологии строительства. 2007. № 3.
14. *Болдырев Г.Г.* Геотехнический мониторинг / Г.Г. Болдырев, А.А. Живаев // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11.
15. *Колоньи Д.Ж.* Концепция геотехнического и строительного мониторинга. Оборудование и практическая реализация / Д.Ж. Колоньи, Л. Маньи // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11.
16. *Колыбин И.В.* Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях / И.В. Колыбин // Развитие городов и геотехническое строительство : труды международной конференции по геотехнике. В 3 т. Т. 3. СПб, 2008.
17. *Крыжановский А.Л.* Геомеханический мониторинг основания и фундаментной плиты высотного здания / А.Л. Крыжановский, И.В. Рубцов, О.И. Рубцов // Технологии, машины, оборудование, материалы и нормативное обеспечение для подземного и высотного строительства : сб. докладов ; секц. 2 «Высотное строительство». М., 2006.
18. Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в Москве / Правительство Москвы. М., 2004.
19. Анализ результатов мониторинга за напряженно-деформированным состоянием (НДС) фундаментов высотного здания многофункционального комплекса (МФК) «Меркурий Сити Тауэр» / Гаврилов А.Н. [и др.]. М. : МГСУ, 2012.
20. *Грязнова Е.М.* Мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) фундаментов высотного здания многофункционального комплекса (МФК) «Меркурий Сити Тауэр» ОАО «Атомэнергопроект» / Е.М. Грязнова, К.С. Борчев, В.С. Герашенко. М., 2013.
21. ФГУП НИЦ «Строительство». Стандарт организации. Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов. СТО 36554501-008-2007. М., 2007.
22. *Тер-Мартirosян З.Г.* Механика грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян. М. : АСВ, 2005.
23. *Борчев К.С.* Оценка влияния технологических деформаций на окружающую застройку при устройстве котлованов / Манаева Л.Б., Шувалов А.Н. // Сб. научных трудов XII международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов. М., 2009.
24. *Шашкин А.Г.* Основы геотехнического мониторинга / А.Г. Шашкин // Инженерные изыскания. 2013. № 10–11.
25. *Петрухин В.П.* Геотехнические особенности строительства Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити» / В.П. Петрухин, О.А. Шулятьев // Развитие городов и геотехническое строительство : труды международной конференции по геотехнике. В 3 т. Т. 3. СПб., 2008.

26. Интерактивный мониторинг деформационного поведения зданий, при-
мыкающих к участку реконструкции аэропорта Внуково-1 / А.Н. Гаврилов
[и др.] // Развитие городов и геотехническое строительство : труды международ-
ной конференции по геотехнике. В 3 т. Т. 3. СПб., 2008.

27. *Гаврилов А.Н.* Мониторинг деформационного поведения зданий, попада-
ющих в зону влияния нового строительства / А.Н. Гаврилов, Е.М. Грязнова,
К.С. Борчев // Промышленное и гражданское строительство. 2007. N 4. С. 61–63.

28. *Дорофеев В.М.* Автоматизированная стационарная станция мониторинга
технического состояния несущих конструкций высотных зданий / В.М. Дорофе-
ев, В.Г. Катренко, Н.В. Назьмов // Новые материалы, конструкции, оборудова-
ние и технологии в строительном комплексе Москвы. Вып. 4. М., 2005.

29. *Селезнев В.Н.* О прогнозе возможных изменений гидрологического режи-
ма территории в связи с освоением подземного пространства зданий и соору-
жений при их реконструкции / В.Н. Селезнев, С.И. Петренко, А.Н. Гаврилов
[и др.]. Сборник трудов МГСУ. М. : МГСУ, 2001.

30. *Аникин О.П.* Применение геофизических методов при обследовании зда-
ний и сооружений в условиях плотной городской застройки / О.П. Аникин,
А.Н. Гаврилов, Е.М. Грязнова // Современные методы инженерных изысканий
в строительстве. М. : МГСУ, 2001.

31. Методика мониторинга состояния несущих конструкций зданий и соору-
жений. Общие положения / Мин-во РФ по делам ГО, ЧС и ликвидации послед-
ствий стихийных бедствий. М., 2008.

32. *Фи Х.Т.* Анализ первоначальных результатов работы автоматического мо-
ниторинга осадок земной поверхности и изменений уровня и характеристик
подземных вод на территории г. Ханоя (Вьетнам) / Х.Т. Фи, К.Т. Нгуен // Инже-
нерные изыскания. 2013. № 10–11.

33. *Мангушев Р.А.* Мониторинг устройства фундаментов из забивных свай для
16-этажного жилого дома в условиях стесненной застройки Санкт-Петербурга /
Р.А. Мангушев, Н.В. Ошурков // Развитие городов и геотехническое строитель-
ство : труды международной конференции по геотехнике. В 3 т. Т.3. СПб., 2008.

Приложения

Приложение 1

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА [11, табл. 12.1]

Объемы, сроки, периодичность и методы	Геотехнический мониторинг			
	вновь возводимых (реконструируемых) сооружений			сооружений окружающей застройки
	оснований, фундаментов, конструкций	ограждающих конструкций котлована	массива грунта, окружающего сооружение	
1. Контролируемые параметры	Таблицы М.1 и М.2 приложения М	Таблица М.3 приложения М	Таблица М.4 приложения М	Таблицы М.3 и М.6 приложения М
2. Сроки выполнения работ	С начала строительства и не менее одного года после его завершения	С начала эксплуатации грунта в котловане и до завершения возведения подземной части сооружения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения
3. Периодичность фиксации контролируемых параметров	После возведения каждого 3–5 этажа, но не реже одного раза в месяц	Не реже двух раз в месяц	Не реже одного раза в месяц на этапе устройства подземной части сооружения	Не реже одного раза в месяц
4. Методы	Принимаются в зависимости от объема контролируемых параметров в соответствии с указаниями 12.3 [11]			

Примечания:

1. Сроки выполнения геотехнического мониторинга необходимо продлевать при отсутствии стабилизации изменений контролируемых параметров.

2. Периодичность фиксации контролируемых параметров должна увязываться с графиком проведения строительно-монтажных работ и может корректироваться (т.е. выполняться чаще, чем это указано в программе геотехнического мониторинга) при превышении значений контролируемых параметров ожидаемых величин (в том числе их изменений, превышающих ожидаемые тенденции) или выявлении прочих опасных отклонений.

3. Для уникальных вновь возводимых и реконструируемых сооружений, а также при реконструкции памятников истории, архитектуры и культуры геотехнический мониторинг следует продолжать не менее двух лет после завершения строительства.

4. Фиксацию контролируемых параметров при геотехническом мониторинге ограждающей конструкции котлована глубиной более 10 м при III категории сложности инженерно-геологических условий, а также при превышении контролируемыми параметрами расчетных значений необходимо выполнять не реже трех-четырёх раз в месяц.

5. Геотехнический мониторинг массива грунта, окружающего вновь возводимое или реконструируемое сооружение, после завершения устройства его подземной части и при стабилизации изменений контролируемых параметров массива грунта и окружающей застройки допускается вести один раз в три месяца.

6. При наличии вибрационных и динамических воздействий следует проводить измерение уровня колебаний оснований и конструкций вновь возводимых (реконструируемых) сооружений и окружающей застройки.

7. Фиксация изменения контролируемых параметров состояния строительных конструкций, в том числе поврежденных, при геотехническом мониторинге сооружений окружающей застройки должна проводиться, в том числе по результатам периодических визуально-инструментальных обследований.

8. Указаниям табл. 12.1 необходимо следовать, в том числе при геотехническом мониторинге сооружений окружающей застройки, расположенных в зоне влияния устройства подземных инженерных коммуникаций, которая определяется в соответствии с указаниями 9.33—9.34.

Приложение 2

КАТЕГОРИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ [11, прил. Е (обязательное)]

Категория состояния сооружения	Характеристика состояния сооружения
I — нормальное	Выполняются требования норм и проектной документации по условиям эксплуатации. Необходимость ремонтных работ отсутствует
II — удовлетворительное	С учетом фактических свойств материалов удовлетворяются требования норм, относящиеся к предельным состояниям I группы; требования, относящиеся к предельным состояниям II группы, могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется текущий ремонт с устранением локальных повреждений без усиления конструкций
III — неудовлетворительное	Нарушены требования норм, но отсутствуют опасность обрушения и угроза безопасности людей. Требуется усиление и восстановление несущей способности поврежденных конструкций
IV — предаварийное или аварийное	Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности конструкций к эксплуатации, об опасности их обрушения и опасности пребывания людей в зоне расположения конструкций

Примечания:

1. Категория технического состояния устанавливается по результатам технического обследования строительных конструкций сооружения, в том числе фундаментов, включая исследования грунтов основания, подстилающих фундаменты.

2. При соответствующем обосновании категория технического состояния реконструируемого сооружения или сооружения, расположенного в зоне влияния нового строительства или реконструкции, может быть повышена, если проектом реконструкции или проектом защитных мероприятий (для окружающей застройки) предусмотрено выполнение работ по усилению фундаментов и надземной части сооружения, связанных, в том числе, с увеличением его жесткости.

3. Категория технического состояния одноэтажных и многоэтажных зданий исторической застройки или памятников истории, архитектуры и культуры с несущими стенами из кирпичной кладки без армирования не может быть установлена (повышена) выше категории II — удовлетворительная. К исторической застройке относятся здания с указанной конструктивной схемой при сроке их эксплуатации более 100 лет.

4. Результаты технического обследования сооружений допускается использовать при сроке давности выполнения технического обследования, не превышающем три года для сооружений со следующими категориями технического состояния: I — нормальное и II — удовлетворительное и не превышающем полтора года для сооружений со следующими категориями технического состояния: III — неудовлетворительное и IV — предаварийное или аварийное.

**ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ
ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ СООРУЖЕНИЙ**
[11, прил. Ж (рекомендуемое)]

Сооружения	Категория технического состояния зданий	Пределные дополнительные деформации основания фундаментов	
		Относительная разность осадок ($\Delta s/L$) _u	Максимальная осадка $S_{ad,u}^{\max}$, см
1. Одноэтажные и многоэтажные бескаркасные здания со стенами из крупных панелей	I	0,0020	4,0
	II	0,0010	3,0
	III	0,0007	2,0
2. Одноэтажные и многоэтажные бескаркасные здания со стенами из кирпича или крупных блоков без армирования	I	0,003	4,0
	II	0,0015	3,0
	III	0,001	2,0
3. Одноэтажные и многоэтажные бескаркасные здания со стенами из кирпича или крупных блоков с армированием или железобетонными поясами	I	0,0035	5,0
	II	0,0018	4,0
	III	0,0012	3,0
4. Многоэтажные и одноэтажные здания исторической застройки или памятники истории, архитектуры и культуры с несущими стенами из кирпичной кладки без армирования	I	—	—
	II	0,0009	1,5
	III	0,0007	1,0

Примечания:

1. $S_{ad,u}^{\max}$ — значение предельной дополнительной максимальной осадки основания отдельно стоящих фундаментов реконструируемого сооружения на естественном основании или свайных ростверков, в том числе при усилении основания и фундаментов.

2. При подведении сплошной монолитной железобетонной фундаментной плиты под реконструируемое сооружение допускается принимать значения предельных дополнительных средних осадок $\bar{S}_{ad,u}$ равными $S_{ad,u}^{\max}$.

3. Для сооружений с категорией технического состояния IV — предаварийное или аварийное дополнительные деформации основания фундаментов не допускаются.

4. Значения таблицы допускается не применять, если в основании фундаментов реконструируемого сооружения в пределах сжимаемой толщи H_c , определенной с учетом требований 5.6.41 [11], залегают грунты с модулем деформации $E \leq 1$ МПа или в основании залегают специфические грунты, указанные разделе 6 [11]. Вместо указанных величин следует пользоваться значениями региональных таблиц, характерными для этих районов и приведенными в территориальных строительных нормах. В случае отсутствия соответствующих нормативных значений в территориальных строительных нормах необходимо руководствоваться данными таблицы.

**ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ
ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ
ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ИЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ
[11, прил. Л (обязательное)]**

Сооружения	Категория технического состояния зданий	Пределные дополнительные деформации основания фундаментов	
		Относительная разность осадок ($\Delta s/L$) _u	Максимальная осадка $S_{ad,u}^{\max}$ см
1. Гражданские и производственные одноэтажные и многоэтажные здания с полным железобетонным каркасом	I	0,0020	5,0
	II	0,0010	3,0
	III	0,0007	2,0
2. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из крупных панелей	I	0,0016	4,0
	II	0,0008	3,0
	III	0,0005	2,0
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	I	0,0020	4,0
	II	0,0010	3,0
	III	0,0007	1,0
4. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из кирпича или бетонных блоков с арматурными или железобетонными поясами	I	0,0024	5,0
	II	0,0015	3,0
	III	0,0010	2,0
5. Многоэтажные и одноэтажные здания исторической застройки или памятники истории, архитектуры и культуры с несущими стенами из кирпичной кладки без армирования	I	—	—
	II	0,0006	1,0
	III	0,0004	0,5
6. Высокие жесткие сооружения и трубы	I	0,004	5,0
	II	0,002	3,0
	III	0,001	2,0

Примечания:

1. $S_{ad,u}^{\max}$ — значение предельной дополнительной максимальной осадки основания отдельно стоящих фундаментов на естественном основании или свайных ростверков, в том числе при усилении оснований и фундаментов сооружения окружающей застройки.

2. Для сооружений с категорией технического состояния IV — предаварийное или аварийное дополнительные деформации основания фундаментов не допускаются.

3. Значения таблицы допускается не применять, если в основании фундаментов реконструируемого сооружения в пределах сжимаемой толщи H_c , определенной с учетом требований 5.6.41 [11], залегают грунты с модулем деформации $E \leq 7$ МПа или в основании — специфические грунты, указанные разделе 6 [11]. Вместо указанных величин следует пользоваться значениями региональных таблиц, характерными для этих районов и приведенными в территориальных строительных нормах. В случае отсутствия соответствующих нормативных значений в территориальных строительных нормах необходимо руководствоваться данными таблицы.

**ФРАГМЕНТ ПРОГРАММЫ
ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТА
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ВЫСОТНОГО КОМПЛЕКСА**

Введение

В программе геотехнического мониторинга указаны:

- характеристики проектируемого сооружения;
- расчетные (проектные) параметры, которые характеризуют взаимодействие здания или сооружения с основанием;
- гидрогеологическая и инженерно-геологическая обстановка;
- сведения о сооружениях, попадающих в зону влияния нового строительства;
- контрольные параметры (в том числе прогнозируемое количество и участки фиксирования их изменений) конструкций строящегося сооружения, его основания, в том числе окружающего грунтового массива и уровня подземных вод, и окружающей застройки;
- методы фиксации изменений контрольных величин и требования к точности измерений (в том числе уровень точности геодезических измерений);
- этапы, частота и сроки проведения наблюдений за контрольными величинами с учетом последовательности возведения сооружения;
- требования к составу, структуре и периодичности подготовки отчетной документации.

Согласно программе обследования, фиксация контрольных величин производится для наиболее опасных и характерных участков конструкций возводимого сооружения, основания и окружающей застройки. Выбранные методы и точность измерений должны обеспечивать достоверность получаемых результатов и быть соотнесены с точностью заданных проектных значений и результатов геотехнического прогноза. Все проводимые наблюдения и измерения в рамках геотехнического мониторинга по программе должны быть согласованы между собой во времени и соотнесены с этапами выполнения строительных работ. В программе указана периодичность наблюдений с учетом предполагаемой интенсивности и длительности протекания процессов деформирования конструкций сооружений и их оснований.

Гидрогеологический мониторинг

В рамках контроля гидрогеологического режима грунтового массива предусматривается измерение следующих параметров:

- уровня подземных вод;
- температуры воды;
- химического состава с отбором проб и лабораторными исследованиями.

Измерение уровня грунтовых вод производится в контрольных пьезометрических скважинах. Пьезометрические скважины обсаживаются колоннами из металлических труб с двумя фильтровыми перфорированными элементами, установленными на участках с наилучшими фильтрационными свойствами. Каждая скважина снабжается отстойником для твердых частиц.

Основные условия гидрогеологического мониторинга следующие:	
количество пьезометрических скважин, шт.	6
глубина скважин, м.	15
определение осадки устья скважин, кол-во.	6

Мониторинг откосов котлована

Наблюдения за перемещениями откосов котлована производятся в контрольных скважинах, обсаженных специальными инклинометрическими колоннами.

Основные условия мониторинга откосов котлована следующие:	
количество инклинометрических скважин, шт.	5
глубина скважин, м.	15
определение осадки устья скважин, шт.	5

Мониторинг сооружений в зоне влияния

Коллектор для прокладки тепловой сети выполнен из монолитного железобетона с покрытием из сборных железобетонных плит. Габариты коллектора в поперечном сечении 6,2×2,75 м. Глубина заложения около 2,6 м. Железобетонный коллектор разделяется антисейсмическими швами через 60 м и в местах поворотов. Ширина антисейсмических швов 50 мм.

Суммарные перемещения подошвы фундамента коллектора теплосети от устройства котлована и строительства здания составляют $S_{sum} = 5,4$ мм, что не превышает предельно допустимого значения $S_{ult} = 50$ мм.

Для организации инженерно-геодезических измерений вертикальных перемещений коллектора выбираются 16 створов с шагом примерно 15,0 м, в сечении каждого створа закладываются по две нивелирные марки.

Измерения осадок следует производить методом геометрического нивелирования в прямом и обратном направлениях нивелиром, предназначенным для проведения высокоточного геометрического нивелирования (например «Leica DNA03») с применением инварной рейки с BAR-кодом.

Методика измерения осадок коллектора II классом нивелирования принимается в соответствии с Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-02-03 (М. : ЦНИИГ АиК, 2003).

Основные условия мониторинга перемещений коллектора следующие:	
количество створов для наблюдений, шт.	16 (шаг 15 м)
количество геодезических марок в створе, шт.	2
общее количество геодезических марок, шт.	32

Грунтовое основание

Согласно СТУ на проектирование объекта многопрофильного высотного комплекса (МВК) «Ахмат Тауэр», разработанным АО «НИЦ «Строительство» необходимо выполнять наблюдения за послойными вертикальными осадками грунтового массива сжимаемой толщи. По данным технического отчета «Расчетные обоснования принятых конструктивных решений. Книга 1. Фундаменты», составленного ООО «Подземпроект», глубина сжимаемой толщи составляет 22 м от конца сваи.

Послойное определение вертикальных перемещений массива грунта основания может выполняться с помощью кольцевых марок. Для этого в основании фундамента следует оборудовать порядка 9 скважин глубиной 95 м для наблюдений по 10-ти и более створам. В пробуренную скважину диаметром 100 мм опускается ПХВ

труба внешним диаметром 28 мм с заглушкой на нижнем конце. Кольцевые марки устанавливаются в грунт с помощью внедряющей штанги. Нижняя марка внедряется в слой грунта, который условно считается недеформируемым, и относительно нее берутся показания.

В связи с ограниченностью использования скважинных магнитных экстензометров на большой глубине, окончательно схема определения послойных вертикальных перемещений грунта составляется на стадии рабочей документации.

Сваи

Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов фундамента МВК «Ахмат Тауэр» 28 свай оборудуются КИА. Целевым параметром наблюдений является продольное усилие в свае, которое определяется расчетным путем на основании данных, полученных со струнных преобразователей в бетоне и арматуре.

Предусматривается измерение следующих параметров:

- деформаций бетона при помощи струнных датчиков, установленных в бетон по оси Z в 4-х сечениях по длине сваи;
- деформаций арматуры при помощи струнных датчиков, закрепленных при помощи сварки в арматуре на 4-х сечениях по длине сваи.

Датчики деформаций бетона и арматуры монтируются в арматурный каркас на поверхности в горизонтальном положении.

При опускании каркаса в скважину арматура испытывает растягивающее воздействие под влиянием собственного веса, а показания датчиков смещаются в сторону растяжения. Свая бетонируется. После укладки бетонной смеси проводятся замеры деформаций в рабочей арматуре и деформаций в бетоне. Результаты измерений принимаются за нулевые значения. При проведении всех последующих циклов измерений значения параметров, принятые за нулевые, вычитаются из значений параметров, полученных в текущих циклах измерения.

Основные условия мониторинга усилий в сваях следующие:

количество свай, оборудованных КИА, шт.	28
количество сечений по длине каждой сваи, шт.	4
количество датчиков деформаций бетона в сечении, шт.	4
количество датчиков деформаций арматуры в сечении, шт.	4
общее количество датчиков деформаций бетона, шт.	448
общее количество датчиков деформаций арматуры, шт.	448

Фундаментная плита

Для оценки напряженно-деформированного состояния фундаментная плита МВК «Ахмат Тауэр» оборудуется КИА и геодезическими марками.

Целевыми параметрами наблюдений по фундаментной плите (ФП) являются:

- изгибающий момент по направлению X и Y , который определяется расчетным путем на основании данных, полученных со струнных преобразователей в бетоне и арматуре, а также давление под фундаментной плитой;
- крен фундаментной плиты по направлению X и Y , определяемый при помощи наклонметров, установленных на поверхности плиты или геодезическими методами соответствующей точности;
- вертикальные деформации (абсолютные осадки) фундаментной плиты, определяемые прямыми измерениями методом геометрического нивелирования I класса точности;

- вертикальные деформации (абсолютные осадки) столбчатых фундаментов малоэтажной части, определяемые методом геометрического нивелирования I класса точности. Геодезические марки следует устанавливать через одну колонну в шахматном порядке в уровне отметки пола нижнего этажа, окончательные места установок марок — определять при разработке рабочей документации на проведение мониторинга.

Основные условия мониторинга напряженно-деформированного состояния ФП следующие:

количество точек, оборудованных струнными датчиками давления, шт.	10
общее количество датчиков давления, шт.	10
количество точек, оборудованных струнными датчиками деформаций бетона и арматуры, шт.	24
общее количество датчиков деформаций бетона, шт.	58
общее количество датчиков деформаций арматуры, шт.	96
количество геодезических марок на фундаментной плите, шт.	56
количество геодезических марок на столбчатых фундаментах (колоннах) малоэтажной части, шт.	237
наклонометры, шт.	4

Для выбора метода определения геометрических параметров деформации (осадка, крен, перемещение) необходимо на этапе разработки проекта мониторинга определить класс точности для каждого из параметров, учитывая различия в ожидаемых величинах деформации на каждом отслеживаемом уровне (класс точности принимать согласно табл. 2 ГОСТ 24846—2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений).

В проекте мониторинга необходимо предусмотреть мероприятия по обеспечению сохранности геодезических деформационных марок. Конструкция геодезических деформационных марок должна обеспечивать измерения принятого класса точности (с учетом ошибок установки считывающих устройств).

Конструкция пунктов опорной геодезической планово-высотной сети должна обеспечивать принятый проектом мониторинга класс точности. Для выбора конструкции пунктов опорной высотной сети следует руководствоваться ГКИНП (ГНТА)-03-010-02 (М. : ЦНИИГА и К, 2003 и Правилами закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сети (М. : Геодезиздат, 1993). Конструкцию пунктов опорной плановой сети необходимо выбирать, исходя из применяемых методов.

Каркас

Для оценки напряженно-деформированного состояния надфундаментного каркаса МВК «Ахмат Тауэр» оборудуется КИА и геодезическими марками.

Целевыми параметрами наблюдений по каркасу здания являются:

- боковые смещения (наклон) каркаса в период эксплуатации и строительства, которые определяются при помощи наклонометров, установленных на технических этажах: L19, L39, L58, L76, L94 и на отм. +296,7 м (106-й этаж) и геодезических марок, установленных на технических этажах: L19, L39, L58, L76, L94;

- напряжения в колоннах каркаса, которые определяются расчетным путем на основании данных, полученных со струнных накладных преобразователей (датчиков деформаций);

- упругая деформация в виде укорочения колонн по высоте здания, определяемая при помощи геодезических марок, установленных на технических этажах: L19, L39, L58, L76. Измерения следует производить при помощи тахеометра с точностью угловых измерений 0.5" (например Leica Nova TM50 0.5") с передачей координат на горизонт через монтажные и технологические проемы в наружном стеновом ограждении на технических этажах;

- скорость и направление ветра, температура наружного воздуха, влажность, точка росы, количество осадков и солнечной радиации, измеряемые при помощи наземной метеостанции и метеостанции в верхней точке здания;

- плановые перемещения от ветровых воздействий, получаемых от комплекса спутникового геодезического мониторинга на базе аппаратуры приема глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) сигналов с высокоточными антеннами типа choke ring (например Leica AR25 или Novatel GNSS-750) и специализированного программного обеспечения для мониторинга. Для обеспечения достоверности результатов необходимо использовать не менее двух опорных спутниковых станций с оборудованием соответствующего класса точности. Программный пакет для обработки должен обеспечивать получение урavnенных значений перемещений по методу наименьших квадратов (МНК) с оценкой точности выдаваемых значений;

- ускорение колебаний при ветровом воздействии с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- фактические динамические характеристики (периоды и формы колебаний) башни, их подтверждение с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- фактические уровни демпфирования в здании, их подтверждение с помощью системы динамического мониторинга, состоящей из высокочувствительных низкочастотных акселерометров;

- плановые перемещения от пульсационной составляющей ветровой нагрузки, которые определяются расчетным путем на основании данных системы динамического мониторинга и с помощью спутникового геодезического мониторинга;

- соединения / сварные швы внешней трубы и центральных элементов в период строительства и эксплуатации, определение их состояния методами визуально-инструментального контроля и ультразвуковой дефектоскопии;

- соединения / сварные швы металлоконструкций многосветного пространства в верхней части башни, определение их технического состояния.

Основные условия мониторинга напряженно-деформированного состояния надфундаментного каркаса следующие:

наклонометры, шт.	21
струнные датчики деформаций, шт.	880
геодезические марки на колоннах каркаса, шт.	280
комплекс спутникового мониторинга, компл.	1
акселерометры, шт.	17
метеостанции, шт.	2

Этапы, периодичность и сроки наблюдения за напряженно-деформируемым состоянием строительных конструкций здания приведены в табл. П5.

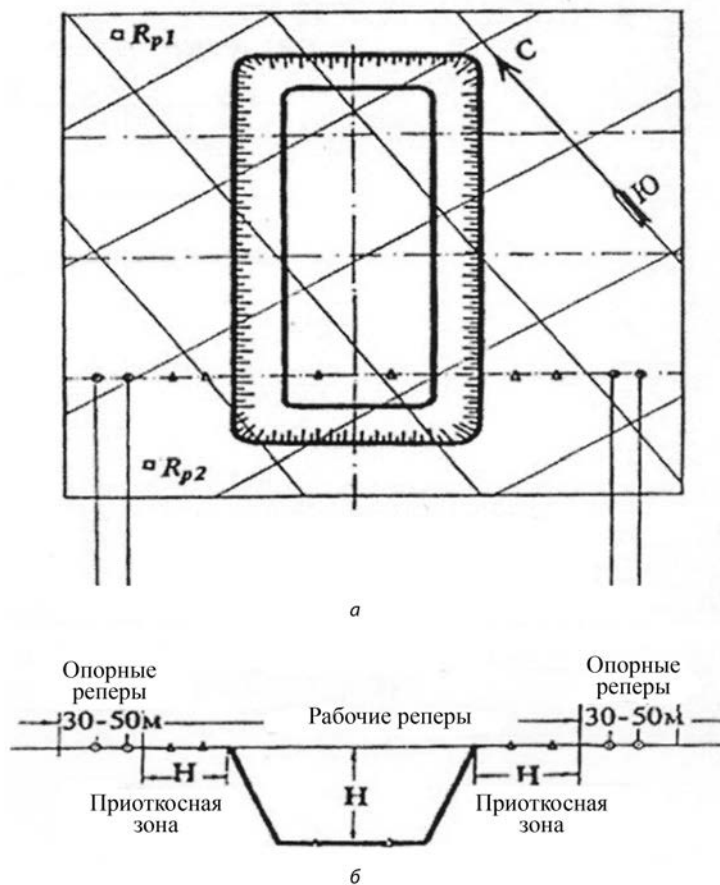
Таблица П5

Наименование работ	Кол-во	Периодичность
Ручные измерения		
Бурение пьезометрических скважин, оборудование скважины, проведение 0-го цикла измерений	90 пог. м	—
Проведение гидрогеологических наблюдений	90 пог. м	2 раза в месяц в строительный период и 1 раз в месяц первые два года эксплуатации нового здания определение уровня и температуры воды. 1 раз в месяц в строительный период и 1 раз в квартал первые два года эксплуатации нового здания определение химического анализа воды
Определение осадки устья скважин	6 скважин	2 раза в месяц в строительный период и 1 раз в месяц в первые два года эксплуатации нового здания
Бурение инклинометрических скважин, оборудование скважин, проведение 0-го цикла измерений	75 пог. м	—
Проведение наблюдений за инклинометрическими скважинами	75 пог. м	2 раза в месяц в период откопки котлована до засыпки пазухов
Определение осадки устья скважин	5 шт.	То же
Установка опорных реперов	3 шт.	—
Установка геодезических марок на коллекторе и проведение 0-го цикла	32 шт.	—
Проведение наблюдений по геодезическим маркам в коллекторе	32 шт.	2 раза в месяц в период откопки котлована до засыпки пазухов, 1 раз в месяц после засыпки пазухов до возведения несущего каркаса здания и 1 раз в месяц в остальной строительный период и в первые два года эксплуатации нового здания
Установка геодезических марок на фундаментной плите и проведение 0-го цикла	56 шт.	—
Проведение наблюдений по геодезическим маркам на фундаментной плите	56 шт.	Не реже 1 раза в месяц или каждые 5 этажей на период возведения каркаса и 1 раз в месяц в остальной строительный период и в первые два года эксплуатации. Далее 1 раз в квартал в течение 3-х лет.
Установка геодезических марок на столбчатых фундаментах (колоннах) малоэтажной части	237 шт.	—

Наименование работ	Кол-во	Периодичность
Проведение наблюдений по геодезическим маркам на столбчатых фундаментах (колоннах) малоэтажной части	237 шт.	1 раз в месяц в основной строительный период и в первые два года эксплуатации. Далее 1 раз в квартал в течение 3-х лет.
Установка геодезических марок на колоннах технических этажей и проведение 0-го цикла	280 шт.	—
Проведение наблюдений по геодезическим маркам на колоннах технических этажей	280 шт.	1 раз в месяц весь строительный период и в первые два года эксплуатации. Далее 1 раз в квартал в течение 3-х лет.
Стационарный автоматизированный мониторинг		
Оборудование КИА свай и проведение наблюдений: струнный датчик деформации бетона то же арматуры	448 шт. 448 шт.	3 раза в неделю в процессе набора прочности бетона, не реже 1 раза в месяц или каждые 5 этажей при помощи переносных или стационарных считывающих устройств с начала строительства до монтажа и пуска-наладки системы во временном помещении. После создания автоматизированного комплекса с заданной частотой, определяемой проектом мониторинга, но не реже 2-х раз в месяц
Оборудование КИА фундаментной плиты и проведение наблюдений: датчик давления струнный датчик деформации бетона то же арматуры наклонметр	10 шт. 58 шт. 96 шт. 4 шт.	3 раза в неделю в процессе набора прочности бетона, 2 раза в месяц при помощи переносных или стационарных считывающих устройств с начала строительства до монтажа и пуска-наладки системы во временном помещении. После создания автоматизированного комплекса с заданной частотой, определяемой проектом мониторинга, но не реже 2-х раз в месяц
Оборудование КИА каркаса здания и проведение наблюдений: струнный датчик деформаций наклонметр акселерометр комплекс спутникового мониторинга метеостанция	880 шт. 21 шт. 17 шт. 1 шт. 2 шт.	2 раза в месяц при помощи переносных или стационарных считывающих устройств с начала строительства до монтажа и пуска-наладки системы во временном помещении. После создания автоматизированного комплекса с заданной частотой, определяемой проектом мониторинга, но не реже 2-х раз в месяц

Частота измерений контролируемых параметров может быть изменена в зависимости от результатов наблюдений. В случае если наблюдаемые величины превысят предельные дополнительные значения, измерения следует проводить в учащенном режиме, который определяется специализированной организацией, проводящей геотехнический мониторинг.

**ПРИМЕРЫ РАЗМЕЩЕНИЯ МАРОК И РЕПЕРОВ
ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ [10]**



Размещение марок и реперов при геодезическом мониторинге сооружения:

a — план; b — разрез; $\square$ — пункты полигометрии; $\blacktriangle$ — рабочие реперы;

$\bullet$ — опорные реперы; $- \cdot -$ — профильные линии

**ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ НАКОПИТЕЛЬНЫХ ВЕДОМОСТЕЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

№ п/п	Цикл											
	1-й (10.01.2015)			2-й (10.02.2015)			3-й (10.03.2015)			4-й (10.04.2015)		
	Абсолютные отметки марок, м	Осадка за цикл, мм	Суммарная осадка, мм	Абсолютные отметки марок, м	Осадка за цикл, мм	Суммарная осадка, мм	Абсолютные отметки марок, м	Осадка за цикл, мм	Суммарная осадка, мм	Абсолютные отметки марок, м	Осадка за цикл, мм	Суммарная осадка, мм
1												
2												
3												
4												
5												

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЗУАЛЬНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Дворовый фасад здания в осях «1–4» (с указанием дефектов)

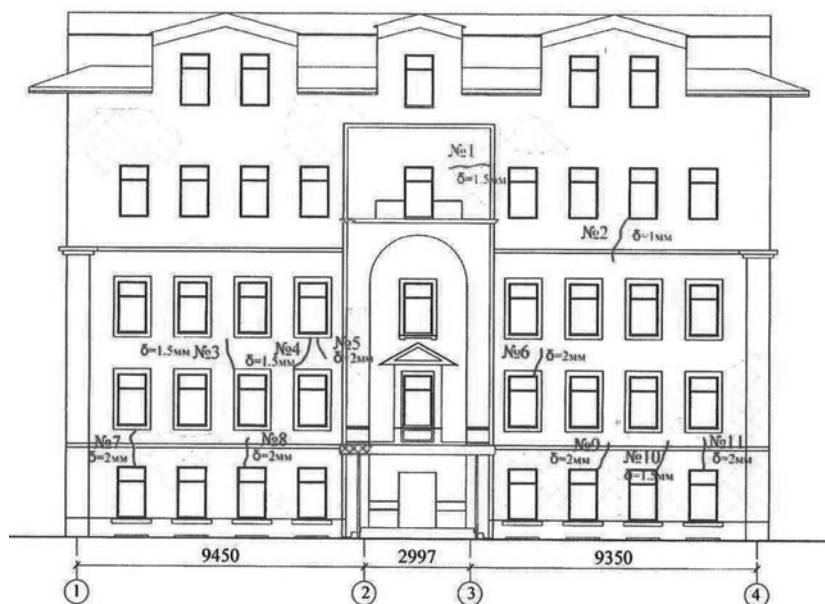


Рис. П8.1. Нулевой цикл наблюдений

☒ — разрушение карниза;

~~~~~ — трещина №2 шириной раскрытия  $\delta = 2 \text{ мм}$ ;

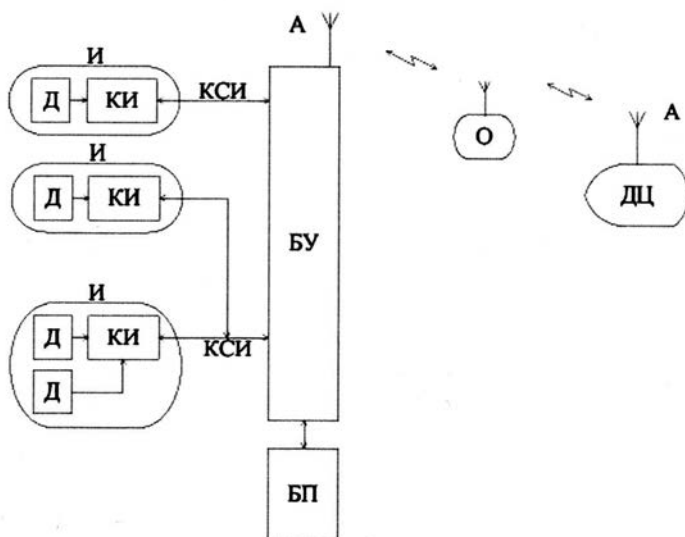
Дворовый фасад здания в осях «1–4/А» (с указанием дефектов)



Рис. П8.2. 1-й цикл наблюдений

- трещина №2 шириной раскрытия  $\delta = 2$  мм (2008 г.);
- трещина №1 шириной раскрытия  $\delta = 0,5–2,5$  мм (2013 г.);
- трещина №2 (2008 г.) совпадает с трещиной №1 (2013 г.);
- отслоение штукатурки в 2013 г.;
- разрушение карниза в 2008 г.;
- разрушение карниза в 2008 г. совпадает с разрушением карниза в 2013 г.

# **ВАРИАНТ БЛОК-СХЕМЫ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**



Блок-схема наблюдательной станции для тензометрического мониторинга:

А — антенны GSM канала связи; О — оператор сотовой связи; Д — датчики;  
И — измеритель; КИ — контроль измерителя; ДЦ — диспетчерский центр;  
КСИ — канал связи измерителя; БУ — блок управления; БП — блок питания

# **ВАРИАНТ ВОЗМОЖНОЙ УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ ДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ВЫСОТНОМ ЗДАНИИ (по данным [28])**

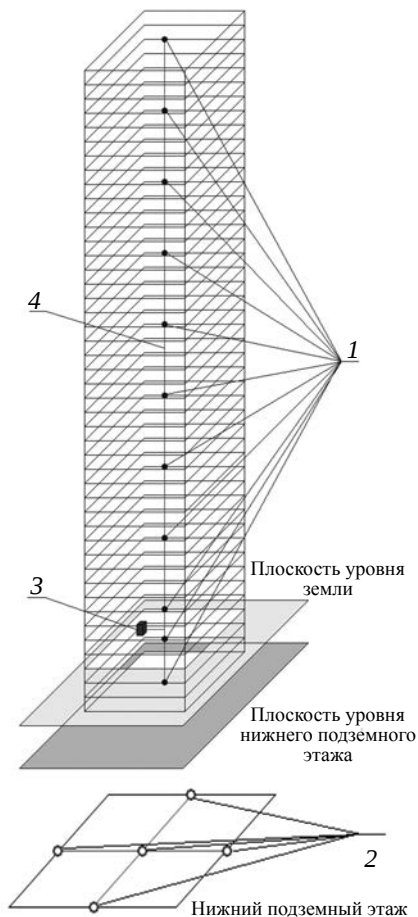
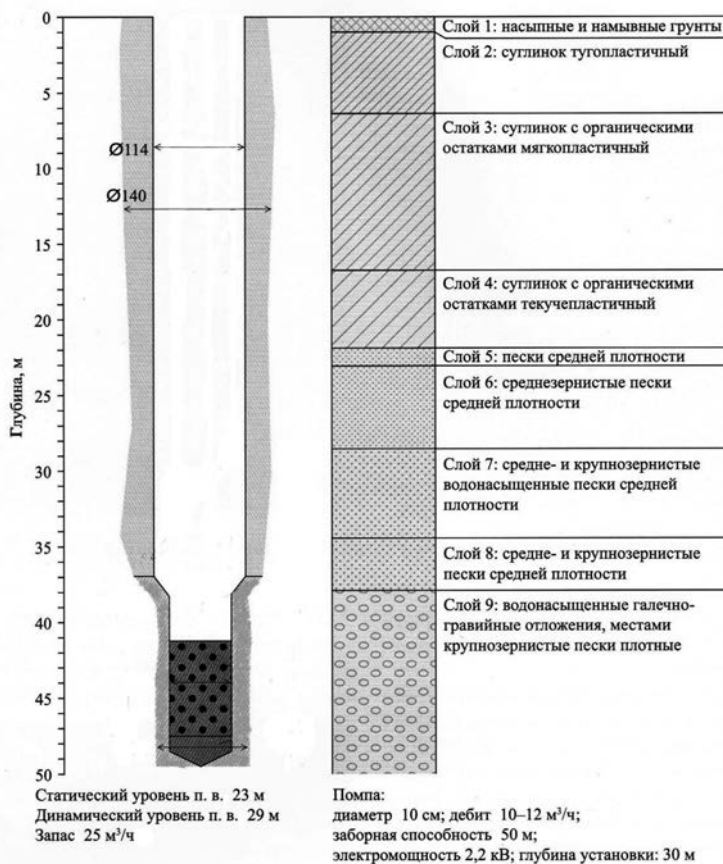


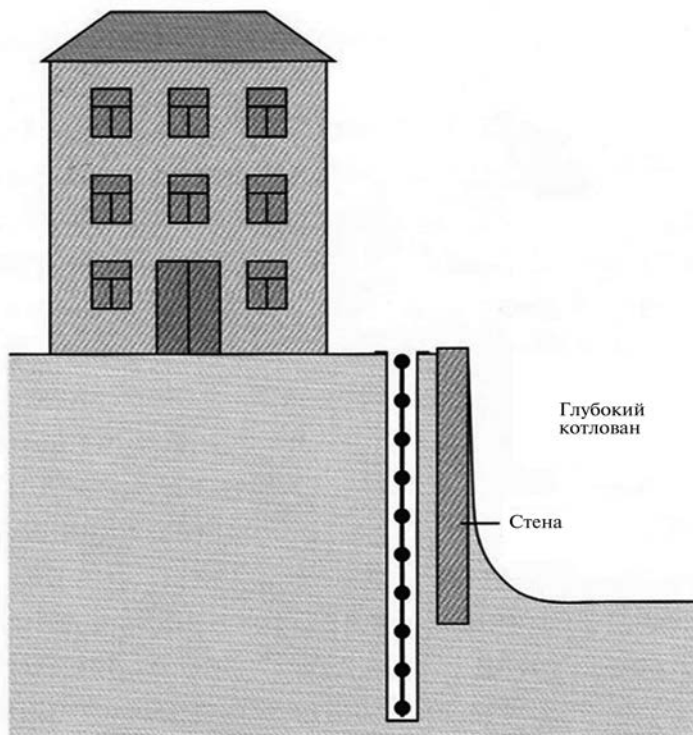
Схема расположения измерительных пунктов станции мониторинга деформационного состояния строительных конструкций зданий:

1 — измерительные пункты, устанавливаемые на несущих конструкциях различных этажей высотного здания; 2 — измерительные пункты, устанавливаемые на несущих конструкциях нижнего подземного этажа высотного здания; 3 — место централизованного сбора информации станции; 4 — система связи между измерительными пунктами и местом централизованного сбора информации; ● — измерительный пункт, в котором производятся трехкомпонентные измерения ускорений; ○ — измерительный пункт, в котором производятся измерения наклонов здания (по данным [28])

# **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОДЗЕМНЫХ ВОД (по данным [32])**



**СХЕМА УСТАНОВКИ ДАТЧИКОВ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ**



# Оглавление

|                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                                                                                                                   | 3  |
| 1. Цели и состав работ при геотехническом мониторинге .....                                                                                                                                                      | 4  |
| 2. Основные требования к программе. Состав и исходные данные, необходимые для ее разработки .....                                                                                                                | 7  |
| 2.1. Основные требования к программе .....                                                                                                                                                                       | 7  |
| 2.2. Состав программы .....                                                                                                                                                                                      | 7  |
| 2.3. Исходные данные для разработки программы и организации мониторинга .....                                                                                                                                    | 11 |
| 2.4. Предварительные работы для разработки программы мониторинга .....                                                                                                                                           | 12 |
| 3. Методика проведения геотехнического мониторинга .....                                                                                                                                                         | 19 |
| 3.1. Объектный мониторинг .....                                                                                                                                                                                  | 19 |
| 3.1.1. Геодезические методы .....                                                                                                                                                                                | 19 |
| 3.1.2. Визуально-инструментальный метод .....                                                                                                                                                                    | 26 |
| 3.1.3. Тензометрический метод .....                                                                                                                                                                              | 31 |
| 3.1.4. Динамический метод .....                                                                                                                                                                                  | 34 |
| 3.2. Гидрогеологический мониторинг .....                                                                                                                                                                         | 39 |
| 3.3. Геомеханический мониторинг .....                                                                                                                                                                            | 43 |
| 3.4. Экологический мониторинг .....                                                                                                                                                                              | 44 |
| 3.5. Расчетно-аналитический блок .....                                                                                                                                                                           | 49 |
| Библиографический список .....                                                                                                                                                                                   | 57 |
| Приложения .....                                                                                                                                                                                                 | 60 |
| Приложение 1. Рекомендации по выбору сроков проведения геотехнического мониторинга [11, табл. 12.1] .....                                                                                                        | 60 |
| Приложение 2. Категории технического состояния существующих сооружений [11, прил. Е (обязательное)] .....                                                                                                        | 61 |
| Приложение 3. Предельные дополнительные деформации основания фундаментов реконструируемых сооружений [9, прил. Ж (рекомендуемое)] .....                                                                          | 62 |
| Приложение 4. Предельные дополнительные деформации основания фундаментов сооружений окружающей застройки, расположенных в зоне влияния нового строительства или реконструкции [11, прил. Л (обязательное)] ..... | 63 |
| Приложение 5. Фрагмент программы геотехнического мониторинга строительных конструкций объекта многофункционального высотного комплекса .....                                                                     | 64 |
| Приложение 6. Примеры размещения марок и реперов при геодезическом мониторинге .....                                                                                                                             | 71 |
| Приложение 7. Возможные варианты накопительных ведомостей при использовании геодезических методов .....                                                                                                          | 72 |
| Приложение 8. Примеры оформления первичных материалов визуально-инструментальных наблюдений .....                                                                                                                | 73 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Приложение 9. Вариант блок-схемы наблюдательной станции<br>для тензометрического мониторинга .....        | 75 |
| Приложение 10. Вариант возможной установки датчиков<br>динамического мониторинга на высотном здании ..... | 76 |
| Приложение 11. Система мониторинга уровня и характеристик<br>подземных вод (по данным [32]).....          | 77 |
| Приложение 12. Схема установки датчиков при строительстве<br>глубоких котлованов.....                     | 78 |

*Учебное издание*

**Грязнова Елена Михайловна,  
Гаврилов Александр Николаевич,  
Чунюк Дмитрий Юрьевич и др.**

## **ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Редактор А.К. Смирнова  
Корректор В.К. Чупрова  
Компьютерная правка О.В. Суховой  
Верстка, дизайн обложки Д.Л. Разумного**

Подписано в печать 01.11.2016 г. И-46. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 4,65. Тираж 200 экз. Заказ 274

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.**

**Издательство МИСИ — МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.**

**Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ.  
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44**