

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова

Кафедра городского кадастра и инженерных изысканий

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ  
ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Методические указания к выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Прикладная геодезия»  
для студентов специальности  
21.05.01 Прикладная геодезия*

Белгород  
2016

УДК 528.482(07)

ББК 26.1я7

Г 35

Составители: канд. техн. наук, доц. Б. А. Храмов  
канд. техн. наук А. А. Ростовцева

Рецензент канд. техн. наук, проф. В. В. Кочерженко

**Г 35** **Геодезический** мониторинг за деформациями зданий, сооружений и земной поверхности: методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине "Прикладная геодезия" / сост.: Б. А. Храмов, А. А. Ростовцева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016.– 40 с.

Методические указания включают рекомендации и исходные данные к выполнению курсовой работы по дисциплине «Прикладная геодезия». Методические указания предназначены для студентов специальности 21.05.01 Прикладная геодезия.

Публикуется в авторской редакции.

УДК  
528.482(07)  
ББК 26.1я7

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Федеральным законом РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и «Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений» необходимо осуществлять постоянный мониторинг за безопасным состоянием зданий и сооружений. Если в результате эксплуатации зданий и сооружений появляются деформации несущих конструкций, фундаментов и земной поверхности, то необходимо осуществлять постоянный мониторинг за развитием деформаций путем проведения инструментальных геодезических наблюдений, оценки величин этих деформаций и прогноза развития деформации во времени.

В методических указаниях дана последовательность решения задач при ведении геодезического мониторинга за деформациями зданий, сооружений и земной поверхности при строительстве подземных сооружений. Приведена схема закладки наблюдательной станции, состоящей из профильной линии на земной поверхности над подземной выработкой и осадочных марок, заложенных в фундаменте здания.

Дано обоснование выбора класса нивелирования при наблюдениях за вертикальными деформациями осадочных марок, заложенных в фундаменте здания, грунтовых и рабочих реперов на земной поверхности.

Рассмотрены методы измерения вертикальных и горизонтальных деформаций подрабатываемого здания и оценки результатов геодезических наблюдений в процессе подработки.

Приведены методика обработки результатов геодезических наблюдений за вертикальными и горизонтальными деформациями и оформление ведомостей вертикальных и горизонтальных деформаций осадочных марок грунтовых и рабочих реперов, а также построение графика вертикальных и горизонтальных деформаций.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Цель курсовой работы - закрепление полученных студентами теоретических знаний, практических навыков, а также развитие самостоятельности в решении вопросов геодезического мониторинга за деформациями зданий, сооружений и земной поверхности.

Основные задачи курсовой работы - научить студентов:

- пользоваться технической, нормативной и справочной литературой;
- разрабатывать проекты наблюдательных станций за деформациями зданий, сооружений и земной поверхности;
- выбирать методику геодезических наблюдений и проводить оценку точности результатов наблюдений;
- рассчитывать величины вертикальных и горизонтальных деформаций фундаментов зданий, сооружений и земной поверхности;
- выполнять оценку технического состояния зданий и сооружений.

Исходные данные для выполнения курсовой работы выдаются преподавателем индивидуально для каждого студента по вариантам. Курсовая работа содержит графическую часть (план наблюдательной станции в масштабе 1:1000 и графики величин горизонтальных и вертикальных деформаций), выполненную на листах формата А4, и пояснительную записку, составленную на 25-30 страницах стандартного формата А4.

Курсовая работа должна состоять из введения, основной части и заключения.

Во введении излагается цель (задача), которую ставит перед собой студент при выполнении данной работы.

Основная часть может состоять из нескольких глав (3-4), в которых должны быть раскрыты следующие вопросы:

- анализ состояния разрушений зданий и сооружений на территории РФ за последние 10 лет;
- разработка проекта наблюдательной станции, заложение реперов и осадочных марок, их конструкция;
- методика обработки результатов наблюдений;
- оценка точности результатов наблюдений;
- в заключении приводятся результаты оценки состояния зданий и сооружений с учетом действующих нормативных документов.

## **2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Для изучения процесса развития деформаций зданий, сооружений, земной поверхности и получения данных о нем производят геодезические инструментальные наблюдения (геодезический мониторинг) за деформациями.

В зависимости от задач, поставленных перед наблюдениями, закладываются постоянные или временные (сроком службы 3 года) наблюдательные станции, устанавливаются сроки, частота и точность наблюдений.

Перед закладкой наблюдательной станции составляется проект, который состоит их графической части и пояснительной записки. Графическая часть состоит из плана наблюдательной станции в масштабе 1:1000 и чертежей конструкции реперов. На плане показывается рельеф земной поверхности, здания, сооружения и профильные линии.

В пояснительной записке указывается цель наблюдений, дается геологическая характеристика участка, на котором закладывается станция, приводятся способ закладки реперов, методика привязки станции к существующей геодезической основе, методика и частота проведения наблюдений, оценка точности результатов наблюдений и технического состояния зданий и сооружений.

### **2.1. Наблюдательные станции, закладка реперов на станциях**

Для измерения деформаций оснований зданий и сооружений при производстве строительных работ и научных исследований, в зависимости от целей наблюдений, а также геологических и гидрогеологических условий, используются геодезические знаки разных видов: фундаментальные, грунтовые, рабочие реперы, осадочные, глубинные, поверхностные марки (для измерения осадок, просадок и оседаний дневной поверхности).

Измерение осадок зданий и сооружений производится путем периодического нивелирования высотных знаков, к которым предъявляются следующие требования: сохранность на весь срок службы наблюдательной станции; защита от влияния промерзания и от внешних повреждений; прочная связь с грунтом, при которой сдвигание грунта вызывает такое же сдвигание реперов; удобство наблюдений за сдвижением высотных знаков в вертикальной и горизонтальной плоскостях и возможность передачи отметок на марки, заложенные в сооружении [3,4].



Рис. 2.1. Профильная линия наблюдательной станции

Инструментальные наблюдения проводят на наблюдательных станциях, состоящих из систем опорных реперов, а также реперов закладываемых по профильным линиям. Наблюдательная станция, представленная на рис. 2.1, состоит из профильной линии и куста грунтовых реперов I, II и III. На профильной линии заложены девять рабочих реперов, центральный 5-й репер находится над центром подземной выработки. На концах рабочей части профильной линии заложено по два опорных репера с каждой стороны (V, А и В, II). Куст реперов представлен на схеме в виде треугольника и состоит из трех грунтовых реперов, расстояние между которыми не менее 50 м [3-6]. Специальные наблюдательные станции на земной поверхности закладывают при появлении деформаций следующих объектов: гражданских, жилых и общественных зданий; промышленных зданий; линий железных дорог и транспортных сооружений; инженерных сооружений; технологического оборудования; водных объектов.

В фундаментах и стенах наблюдаемых объектов устанавливают фундаментные и стенные реперы, замерные марки, датчики или другие замерные устройства.

В качестве опорных реперов на участках с грунтами средней плотности мощностью более 10 м устанавливаются реперы с бетонным монолитом (трубчатые и свайные репера). Конструкция таких реперов представлена на рис. 2.2.

В качестве рабочих реперов используются реперы, изготовленные из металлических стержней диаметром не менее 20 мм, металлических трубок диаметром не менее 30 мм или из обрезков рельсов. Верхние концы обрезков обтачивают до полусферы, а в центре их высверливают углубления диаметром 1-2 мм и глубиной 5-7 мм. Реперы закладывают в скважины диаметром 150-170 мм или в специально подготовленные котлованы. Глубина закладки реперов должна быть такой, чтобы их нижний конец располагался на расстоянии не менее 0,5 м от границы промерзания грунта. Часть репера, расположенная ниже горизонта промерзания, бетонируется, а выше засыпается сухим плотным грунтом (рис. 2.3, а, б).

На участках, где при движении транспорта, ремонтных или других работах реперы могут быть повреждены, верхняя часть их заглубляется на 20-40 см ниже поверхности земли. В местах, где повреждение реперов исключается, их можно закладывать выступающими на 2-3 см над земной поверхностью.

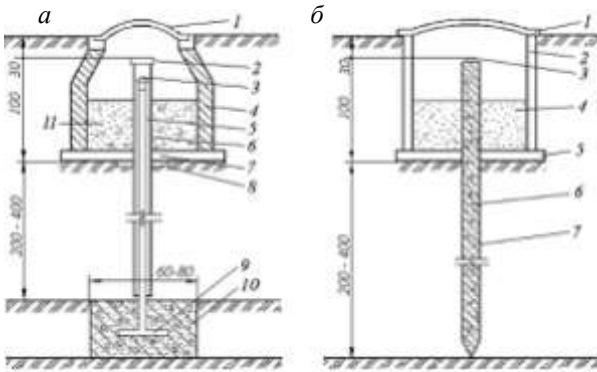


Рис. 2.2. Конструкция реперов:

*a* - трубчатый грунтовой репер на бетонном фундаменте:

- 1 - люк с крышкой; 2 - крышка; 3 - реперная головка (Ø 2–4 см);  
 4 - кирпичный или бетонный сборный колодец; 5 - реперная труба (Ø 7–8 см);  
 6 - защитная труба (Ø 12–15 см); 7 - бетонная подготовка;  
 8 - хомут для удержания защитной трубы; 9 - анкерный лист;  
 10 - бетонная подушка; 11 - шлак;

*б* - грунтовой свайный репер, устанавливаемый забивкой  
 или в котловане ниже глубины промерзания на 1–2 м:

- 1 - люк с крышкой; 2 - кирпичный или бетонный сборный колодец;  
 3 - реперная головка (Ø 2–4 см); 4 - шлак;  
 5 - бетонная подготовка при установке в котлован; 6 - свая; 7 - толь или битум

Перед началом измерений на наблюдательных станциях должна быть выполнена привязка опорных реперов. Вновь установленные реперы привязываются не ранее чем через один месяц к знакам местного высотного обоснования, от которых производилась съемка данного участка или выполнялись разбивочные работы. Периодическая проверка высотного положения реперов, установленных для измерений осадок сооружений, выполняется в каждом цикле наблюдений сравнением взаимных превышений.

При составлении проекта размещения нивелирных марок необходимо учитывать конструктивную схему здания или сооружения, его размеры в плане, давление на отдельные части фундамента, геологические и гидрологические особенности территории. Необходимо создать благоприятные условия для проведения геодезических работ.



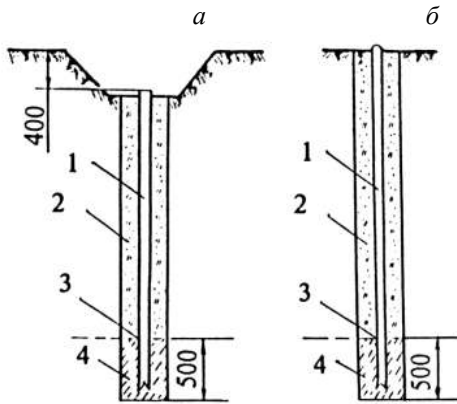


Рис. 2.3. Конструкции реперов бетонированных наблюдательных станций:  
*а* - заглубленные, *б* - незаглубленные;  
 1 - металлический стержень; 2 - сухая плотная засыпка;  
 3 - граница сезонного промерзания; 4 - бетон

На основании действующих указаний по наблюдению за осадками фундаментов на гражданских зданиях марки следует размещать по их контуру через 10–15 м (рис. 2.4). При этом необходимо устанавливать их на углах здания, в местах примыкания продольных и поперечных стен и у осадочного шва (по обе его стороны).

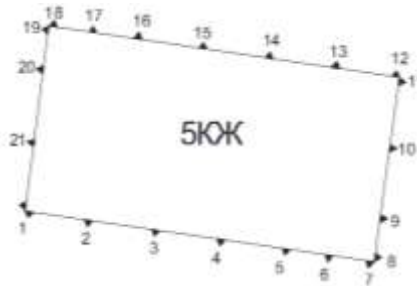


Рис. 2.4. Схема размещения осадочных марок по контуру здания

В зависимости от поверхности установки осадочные деформационные марки подразделяют на марки, устанавливаемые на вертикальной поверхности (колонне, стене, вертикальной поверхности фундамента и т. п.), и на марки, устанавливаемые на горизонтальной поверхности (в

перекрытии, фундаменте и т. п.).

Деформационные марки, устанавливаемые в строительные конструкции, представлены на рис. 2.5.

Для установки на фундаментах, кроме стержневой конструкции из штыря диаметром 30-40 мм с приваренной сферой R10 и колпачком (рис. 2.5, а), в последнее время нашли применение марки с использованием стандартных клиновых анкеров (рис. 2.5, б). Такую марку устанавливают следующим образом: перфоратором в бетоне или дрелью в кирпичной кладке сверлят отверстие диаметром 12 мм на глубину 100 мм и в отверстие вставляют клиновидный анкер до упора и затягивают торцевым гаечным ключом.

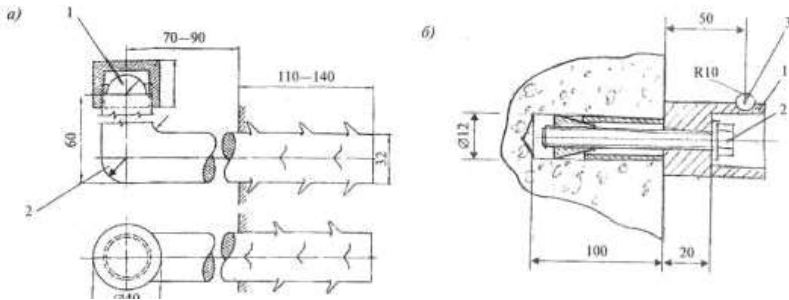


Рис. 2.5. Деформационные марки, устанавливаемые в строительную конструкцию:

- а - штыревая марка: 1 - сфера; 2 - штыри (арматура);  
 б - анкерная марка: 1 - корпус марки; 2 - клиновидный анкер;  
 3 - шарик для установки нивелирной рейки

Конструкции деформационных марок для горизонтальных поверхностей представлены на рис. 2.6.

Для многоэтажных зданий, имеющих сплошную фундаментную плиту, марки следует размещать на разбивочных поперечных и продольных осях плиты и по ее контуру из расчета одной марки на каждые 100 кв.м. площади. Причем общее размещение марок должно обеспечивать возможность проведения линий равных осадок сечением через 5-10 мм. Для всех зданий и сооружений нивелирные марки следует закладывать в местах наибольших ожидаемых осадок и в местах изменения высоты сооружения.

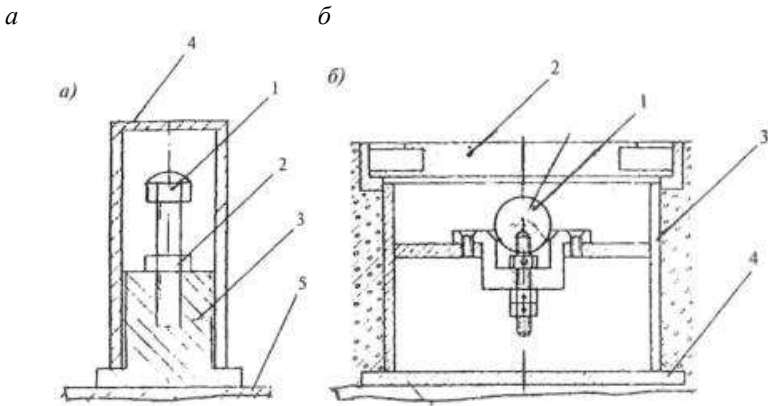


Рис. 2.6. Деформационная марка в полу:

*а* – с болтом:

1 - болт со сферой; 2 - зажимная гайка; 3 - корпус;  
4 - защитный колпачок; 5 - закладная;

*б* – с шариком:

1 - шарик для установки рейки; 2 - крышка;  
3 - корпус защитного колодца; 4 - закладная в полу

На выстроенных зданиях и сооружениях с явными признаками деформаций количество марок надлежит увеличивать, особенно насыщая ими зоны трещин. Размещение марок должно предусматривать свободный доступ к ним и возможность установки рейки на знаки так, чтобы всякого рода выступы не мешали держать ее отвесно. Особое внимание следует уделять сохранности марок, т.к. всякое повреждение или неоправданная перестановка вызывает дополнительную ошибку в последующем определении их нового положения.

Измерение осадок зданий и сооружений производится путем периодического нивелирования высотных знаков закладываемых согласно составленному проекту, к которому также прилагается схема нивелирных ходов с указанием размещения закладываемых реперов и осадочных марок.

Наблюдательные станции на земной поверхности закладывают при появлении деформаций следующих объектов:

промышленных зданий (заводских цехов, обогатительных фабрик, рудничных мастерских, надшахтных зданий и зданий подъемных машин);

линий железных дорог и транспортных сооружений (мостов, путей, проходов);

инженерных сооружений (водонапорных башен, дымовых труб, шахтных копров, бункеров, электроподстанций, опор линий электропередач, газопроводов и нефтепроводов);

технологического оборудования (шахтных подъемных машин, вентиляторов, оборудования обогатительных фабрик и закладочных комплексов, котлов, металлообрабатывающих станков длиной более 6 м, подкрановых путей и т. д.);

санитарно-технических сетей (водопроводов, теплопроводов, канализационных сетей);

водных объектов (рек, каналов, водохранилищ, хвостохранилищ и шламоотстойников);

действующих карьеров, склонов гор, на которых могут возникать оползни.

На наблюдательных станциях определяют величины деформаций зданий и сооружений их фундаментов и земной поверхности. С этой целью в зданиях и сооружениях и их фундаментах устанавливают стенные реперы, маяки, замерные марки, датчик или другие замерные устройства, а на земной поверхности вблизи объектов закладывают линии грунтовых реперов.

Плановую и высотную привязки реперов наблюдательной станции к опорной сети и наблюдения за грунтовыми и стенными реперами и марками в вертикальной и горизонтальной плоскостях на наблюдательных станциях выполняют геодезическими методами.

Стенные реперы (марки) закладывают в фундаментах или цоколях ниже слоя гидроизоляции по всему периметру здания через равные интервалы от 4 до 15 м. На каждой стороне здания должно быть заложено не менее трех стенных реперов. Расстояния между реперами в каркасных зданиях должны соответствовать шагу основных колонн (столбов). Стенные реперы закладывают непосредственно в наружных колоннах или их фундаментах. В отдельных случаях закладывают реперы и во внутренних колоннах, а также в балках перекрытий.

Грунтовые реперы закладывают против стенных реперов на расстоянии не менее 1,5-2,0 м от фундамента, но не ближе 0,5 м от отмостки.

Наблюдения на станции заключаются в нивелировании стенных и грунтовых реперов, измерении горизонтальных расстояний между ними и наблюдении за деформациями зданий путем визуального осмотра. При этом особое внимание необходимо обращать на состояние несущих конструкций (наличие трещин, отклонений от первоначального положения, прогибов).

В зданиях и сооружениях устанавливают комплекс датчиков, при-

боров и приспособлений, с помощью которых проводят наблюдения за напряжениями и деформациями в конструкциях зданий. В таких случаях наблюдения обычно выполняют с привлечением специализированных организаций.

При появлении в стенах, колоннах и других частях зданий и промышленных сооружений трещин устанавливают маяки для наблюдения за изменением размеров трещин. Ширину и длину трещин, а также дату измерения записывают в журнал. Для непосредственного измерения ширины раскрытия трещин применяют: измерительный клин, прозрачный трафарет с нанесенными на него линиями различной толщины, стальную линейку. Для измерения трещин в недоступных местах применяют глазомерную оценку ширины трещины по сравнению с непосредственно измеренными трещинами на ближайшем участке.

При появлении первых признаков деформации зданий (возникновении первых трещин в стенах, раскрытии осадочных швов в зданиях с конструктивными мерами защиты) необходимо провести дополнительные наблюдения по реперам наблюдательной станции и зафиксировать все видимые проявления деформаций зданий, независимо от ранее намеченной программы наблюдений.

## **2.2. Закладка реперов наблюдательной станции**

До начала наблюдений на объекте создается высотная опорная сеть. Для наблюдения за осадкой наиболее ответственных зданий и сооружений высотная опорная сеть создается из глубинных реперов, закладываемых в практически несжимаемые грунты. В остальных случаях опорная сеть может состоять из фундаментальных, грунтовых и свайных реперов и стенных марок, закладываемых в фундаменты старых зданий кустами по три знака. Для взаимного контроля устойчивости число знаков (кустов) высотной основы на объекте должно быть не менее трех.

Реперы необходимо устанавливать вблизи от сооружений, но вне зон распространения давления от них, используя для этого газоны, скверы и другие участки, где отсутствуют подземные коммуникации. Нельзя закладывать реперы вблизи проездов, оползневых склонов, строительных площадок и в местах с высоким уровнем грунтовых вод.

Места установки реперов согласуются с организациями, ведающими подземным хозяйством и строительством.

На каждом репере указывается учреждение, год его установки и порядковый номер. Положение репера в плане определяется привязками к постоянным местным предметам. Все знаки высотной основы

сдаются на хранение по акту геодезической службе города, проектной организации и заказчику.

При составлении проекта закладки осадочных марок необходимо стремиться к наиболее рациональному их размещению. Поскольку характер протекания осадки сооружения и ее величина зависят не только от просадочности грунта, но и от конструкции фундаментов, важно правильно разместить марки на несущих конструкциях сооружения. В местах, подвергающихся различной нагрузке, по обе стороны осадочных швов и линий, разграничивающих разные нагрузки на основание; по осям симметрии здания; в местах примыкания продольных и поперечных стен и т. д.

На зданиях с кирпичными стенами и ленточными фундаментами марки устанавливаются через 10-15 м, располагая их на углах здания, у торцов несущих стен, в лестничных клетках. На сборно-каркасных промышленных зданиях их устанавливают на несущих колоннах по периметру здания и внутри него. При этом по поперечным и продольным осям должно быть не менее трех марок в каждом направлении. В фундаментах дымовых труб, доменных печей, силосных башен и других сооружений подобного типа допускается установка 3-4 марок по периметру.

Конструкция марки может быть различной, однако любой ее тип должен обеспечивать одинаковую постановку рейки при повторном нивелировании, а места установки марок — длительную их сохранность и удобство подхода во время производства наблюдений. При составлении проекта нивелирной сети исходят из заданной точности измерения осадки и удобства производства наблюдений.

Перед закладкой реперов наблюдательной станции осуществляется разбивка линий и установка кольшков на местах будущих реперов посредством инструментального провешивания. Отклонение от створа профильных линий допускается не более 5 см.

### **2.3. Организация, точность и периодичность измерений**

От правильного выбора точности и периодичности наблюдений зависят методы и средства измерений, затраты на их производство и достоверность получаемых результатов.

Точность и периодичность измерений указываются в техническом задании на производство работ с учетом требований нормативных документов. В особых случаях эти требования могут быть получены путем специальных расчетов.

Комплекс работ по измерению деформаций оснований зданий и сооружений организуют в следующей последовательности [6]:

- 1) разработка программы измерений;
- 2) выбор конструкции, мест расположения и установка исходных геодезических знаков плановой и высотной основы;
- 3) осуществление высотной и плановой привязки установленных исходных геодезических знаков;
- 4) установка деформационных марок на исследуемых зданиях и сооружениях;
- 5) инструментальные измерения величин вертикальных и горизонтальных перемещений и кренов;
- 6) обработка и анализ результатов наблюдений.

Методы измерений вертикальных и горизонтальных перемещений и определения крена фундамента устанавливаются специально разрабатываемой программой измерений в зависимости от конструктивной особенности сооружения и его фундаментов. В программе освещаются цели и задачи предстоящих измерений, инженерно-геологические и гидрогеологические условия района работ, устанавливается цикличность проведения работ, а также расчетные величины ожидаемых деформаций оснований

Расчетные величины деформаций, установленные проектом, являются исходными для назначения точности измерений как вертикальных, так и горизонтальных перемещений в период строительства, в соответствии с табл. 1. Для периода эксплуатации сооружения допуски ошибок измерений несколько жестче (ГОСТ 24846-81).

На основании определенной по табл. 1 допустимой погрешности устанавливается класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений фундаментов зданий и сооружений в соответствии с табл. 2.

При отсутствии данных по расчетным величинам деформаций оснований фундаментов класс точности измерений перемещений допускается устанавливать следующим образом:

I – для уникальных зданий и сооружений, длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации, а также для сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

II – для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

III – для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;

IV – для земляных сооружений.

Таблица 1

**Расчетные величины деформаций  
и их допустимые погрешности измерений**

Расчетная величина горизонтальных или вертикальных перемещений, мм	Допустимая погрешность измерений между циклами, мм			
	Строительный период		Эксплуатационный период	
	Грунты			
	Песчаные	Глинистые	Песчаные	Глинистые
До 50	1	1	1	1
50-100	2	1	1	1
100-250	5	2	1	2
250-500	10	5	2	5
Свыше 500	15	10	5	10

Таблица 2

**Классы точности измерений деформаций**

Класс точности измерений	Допускаемая погрешность измерений, мм	
	Вертикальные	Горизонтальные
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

Таким образом, для того чтобы установить класс точности измерений, необходимо знать расчетные величины перемещений или назначить класс точности, исходя из характеристик грунтов оснований и возраста самого сооружения.

Например, при строительстве сооружения в окружении существующей застройки возникает необходимость в наблюдении за вертикальными перемещениями существующих зданий и сооружений. Если последние возведены на песчаных или глинистых грунта, то можно установить II класс точности измерения перемещений. Это, в свою очередь, означает, что допустимая или средняя квадратическая ошибка измерения, скажем, вертикальных перемещений, не должна превысить 2 мм.

Вертикальные перемещения (осадки) для конкретной марки  $k$  текущего цикла  $i$  вычисляются по формуле:

$$S_i = H_R + [h_i]_1^k - H_R + [h_0]_1^k \quad (2.1)$$



Здесь  $H_R$  – высота исходного репера;  $[h_i]_1^k$  и  $[h_0]_1^k$  – сумма уравненных превышений соответственно текущего и начального циклов наблюдений по ходу от исходного репера до марки  $k$ .

Выполнив дифференцирование и перейдя к средним квадратическим ошибкам, получим

$$m_S^2 = m_i^2 + m_0^2, \quad (2.2)$$

где  $m_i$  и  $m_0$  – средние квадратические ошибки суммарных превышений по ходу, иначе говоря, средние квадратические ошибки высоты марки в текущем и начальном циклах измерений соответственно. Эти ошибки можно принять равными, так как измерения выполняются циклично по выбранной схеме и утвержденной программе измерений одним и тем же комплектом приборов и тем же исполнителем, т. е.  $m_i = m_0 = m_H$ . Следовательно,

$$m_S = m_H \sqrt{2}. \quad (2.3)$$

Естественно, точностные требования следует предъявлять к самой слабой точке (марке) нивелирного хода. Удовлетворив эти требования для слабой точки, можно быть спокойным за все остальные. Самой слабой точкой нивелирного хода является наиболее удаленная от исходных реперов, т. е. расположенная в середине замкнутого хода или хода, опирающегося на два репера. Для приведенного примера  $m_S = 2$  мм, а поэтому  $m_H = 1,4$  мм. Таким образом, нами найдена допустимая средняя квадратическая ошибка определения высоты слабой точки нивелирного хода. При наличии конкретной схемы нивелирных ходов можно подсчитать количество установок нивелира (станций) от исходного репера до слабой точки и, таким образом подсчитать допустимую ошибку измерения превышения на станции и, следовательно, класс нивелирования.

Если нивелирование на станциях выполняется примерно с одинаковой точностью, то при незначительном влиянии систематических ошибок можно записать

$$m_H = m_h \sqrt{k}, \quad (2.4)$$

где  $m_h$  – средняя квадратическая ошибка измеренного превышения на станции;  $k$  – число станций от исходного репера до наблюдаемой марки.

Подставив полученное значение  $m_H$  в формулу (2.3), получим

$$m_S = m_h \sqrt{2k} . \quad (2.5)$$

Приняв для наиболее слабого места  $k = \frac{n}{2}$ , получим

$$m_S = m_h \sqrt{n} , \quad (2.6)$$

где  $n$  – общее число станций в ходе.

Однако, можно решить и обратную задачу. Зная  $n$  и  $m_S$ , можно найти допустимую ошибку измерения превышения на станции, иначе говоря, можно установить класс нивелирования или же, при заданных значениях  $m_S$  и  $m_h$ , можно найти допустимое количество станций в ходе  $n$ .

При изучении горизонтальных перемещений и кренов перед началом измерений в общем случае производят следующие подготовительные работы:

- установка надежных и стабильных в плановом отношении опорных знаков, часто снабженных принудительными центрировочными приспособлениями;

- закрепление на исследуемом объекте на внешних или внутренних его конструкциях контрольных геодезических знаков, так называемых деформационных марок:

- разработка методов контроля стабильности опорных знаков, чаще всего в виде программы наблюдения ориентирных пунктов.

При подготовке к измерениям вертикальных перемещений также устанавливаются исходные геодезические знаки высотной основы, а на исследуемых сооружениях деформационные марки.

Установить необходимую точность измерения деформаций (вертикальных, горизонтальных) расчетным путем довольно сложно, однако для многих практических задач можно пользоваться формулой:

$$m_\phi \leq 0,2\Delta\Phi, \quad (2.7)$$

где  $m_\phi$  – средняя квадратическая ошибка измерения деформации;  $\Delta\Phi$  – величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Выбор времени между циклами измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформаций и других факторов. В среднем в строительный период систематические наблю-

дения выполняют 1-2 раза в квартал, в период эксплуатации – 1-2 раза в год. При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформаций.

#### **2.4. Измерение осадок фундаментов зданий и сооружений методом нивелирования III класса**

Одним из методов для измерений вертикальных перемещений фундаментов на сильно сжимаемых, оттаивающих и просадочных грунтах является нивелирование III класса. Этот метод применяется в любых случаях и для любого сооружения, если средняя скорость осадки его превышает 5 мм в месяц. При меньшей скорости осадок, которая обычно бывает в эксплуатационный период, следует применять более точные методы [3,4].

Измерение осадок фундаментов состоит в периодическом повторном нивелировании марок, установленных на сооружении, от исходных (практически неподвижных) реперов.

Процесс организации и измерения осадок фундаментов нивелированием III класса складывается из следующих этапов:

1. Размещение и установка знаков высотной основы.
2. Выбор геодезических инструментов.
3. Производство нивелирования III класса.
4. Камеральная обработка результатов нивелирования.

Для измерения осадок зданий или сооружений на их частях устанавливают осадочные марки. В качестве исходных высотных знаков для нивелирования могут служить группы грунтовых реперов, закладываемых в 50-70 м по разные стороны от воздвигаемого сооружения.

Далее следует выбор геодезических инструментов. При проведении нивелирных работ применяют нивелиры и нивелирные рейки, выпускаемые по ГОСТ 10528-90. Для измерения осадок фундаментов можно применять все типы нивелиров, обеспечивающих точность нивелирования III класса, т. е. нивелиры со зрительными трубами, имеющими 30-35-кратное увеличение, и с уровнями (при трубе), имеющими цену деления 12-15" на 2 мм дуги. Для контактных уровней цена деления может быть понижена до 30" на 2 мм дуги.

Рейки одно-, двух- и трехметровой длины должны быть двусторонними, шашечными и с уровнями. Могут также применяться штриховые рейки с двумя шкалами. Погрешности в нанесении дециметровых штрихов и в положении пятки рейки не должны превышать  $\pm 0,5$  мм.

Перед началом работ нивелир должен быть проверен, а рейки исследованы при помощи контрольного метра.

Величину угла наклона у нивелира определяют двойным нивелированием в первые дни работы ежедневно, при ее постоянстве это определение выполняют через 3-5 дней. Круглые уровни при рейках проверяют по отвесу ежедневно.

Специфические особенности, отличающие нивелирование для измерения осадок фундаментов от общегосударственного нивелирования [3,4]:

1. Нивелирование для измерения осадок выполняется короткими лучами при расстояниях от нивелира до рейки от 4 до 40 м; при этом инструмент устанавливают в середине так, чтобы высота визирного луча над почвой или над препятствиями была не менее 0,3 м.

2. Нивелирование можно выполнять в любое время суток. Работы следует прекращать только при сильном ветре и дожде, в жаркую погоду, порождающую конвекционные токи воздуха, и в сильный мороз ( $-20^{\circ}$  и ниже).

3. В первом цикле нивелирование выполняют дважды, при этом второй (дублирующий) цикл производят немедленно вслед за первым.

Расхождения в отметках, полученных из двух таких нивелировок одноименных марок, не должны превышать 3 мм. Как правило, нивелирование ведут замкнутыми ходами или в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента по маркам и переходным башмакам. В качестве последних лучше применять специальные штыри или гвозди с полусферической головкой (диаметром 15-20 мм), забиваемые в твердое покрытие тротуаров, проездов или в швы кладки. При производстве нивелирования особое внимание должно быть обращено на устойчивость инструмента.

4. Нивелирование в каждом цикле наблюдений выполняют по одним и тем же направлениям, в связи с чем, на строительной площадке фиксируются постоянные места установки инструмента.

5. Одновременно следят за возможными деформациями сооружений (трещины, перекосы, сдвиги и пр.), которые фотографируют или зарисовывают, и в журнале наблюдений отмечают даты их появления, величину и ход развития во времени. В нивелирных журналах отмечают давление на грунты основания, выраженное в  $\text{кг}/\text{см}^2$  (или в процентах от общего веса сооружения), а также обстоятельства, которые могут дополнительно повлиять на величину осадки (колебание уровня грунтовых вод, возникновение рядом нового строительства, забивка свай и т. п.).

## 2.5. Основные источники погрешностей нивелирования IV класса

При геометрическом нивелировании из середины превышение  $h$  определяется по формуле:

$$h = a - b, \quad (2.8)$$

где  $a, b$  – отсчеты по передней и задней рейкам.

Если  $m_a$  и  $m_b$  – средние квадратические погрешности взглядов  $a$  и  $b$  соответственно по передней и задней рейкам, то погрешность превышения  $m_h$  определится из выражения:

$$m_h = \sqrt{m_a^2 + m_b^2}. \quad (2.9)$$

Полагая, что среднеквадратические погрешности взглядов равны между собой, т.е.  $m_a = m_b = m_{\text{взгл}}$ , будем иметь

$$m_h = m_{\text{взгл}} \sqrt{2}. \quad (2.10)$$

Основными погрешностями, влияющими на погрешность взгляда  $m_{\text{взгл}}$  по рейке, будут следующие:

1. Средняя квадратическая погрешность установки визирной оси трубы в горизонтальное положение  $m_{\text{в.о.}}$ , определяемая из соотношения:

$$m_{\text{в.о.}} = \frac{m_{\text{уп}}}{\rho''} S, \quad (2.11)$$

где  $m_{\text{уп}}$  – средняя квадратическая погрешность установки пузырька уровня в нульпункт,  $S$  – расстояние от нивелира до рейки, мм.

Согласно исследованиям,  $m_{\text{уп}} = 0,1\tau$ , где  $\tau$  – цена деления уровня.

Если  $\tau = 20''$ ,  $\rho'' = 206265$  и  $S = 100$  м, то  $m_{\text{в.о.}} = 0,97$  мм.

2. Средняя квадратическая погрешность  $m_{\text{о.р.}}$  отсчета по рейке определяется по формуле:

$$m_{\text{о.р.}} = \pm(0,136 \frac{S}{1000\nu} + 0,0292t), \quad (2.12)$$

где  $S$  – расстояние от нивелира до рейки, мм,  $\nu$  – увеличение зритель-

ной трубы,  $t$  - цена деления рейки, в мм. При  $S = 100$  м,  $\nu = 30^x$  и  $t = 10$  мм  $m_{o.p.} = 0,74$  мм.

3. Средняя квадратическая погрешность отсчета  $m_{p.m.}$ , зависящая от разрешающей способности трубы, равна

$$m_{p.m.} = \frac{60''}{\nu \rho''} S \cdot \quad (2.13)$$

При увеличении зрительной трубы  $\nu = 30^x$  средняя квадратическая погрешность отсчета будет равна:

$$m_{p.m.} = \frac{60''}{\nu \rho''} S = \frac{60''}{30 \cdot 206265} \cdot 10000 = 0,97 \text{ мм.}$$

4. Допустимая случайная погрешность в положении дециметровых делений рейки  $\Delta_{дел} = \pm 1$  мм,  $m_{дел} = \pm 0,5$  мм.

Полагая, что перечисленные погрешности действуют независимо друг от друга, среднюю квадратическую погрешность взгляда получим из выражения

$$m_{\text{взгл.}} = \sqrt{m_{\text{в.о.}}^2 + m_{\text{о.р.}}^2 + m_{\text{п.м.}}^2 + m_{\text{дел}}^2} \cdot \quad (2.14)$$

Подставив полученные значения средних квадратических погрешностей  $m_{\text{в.о.}}$ ,  $m_{\text{о.р.}}$ ,  $m_{\text{п.м.}}$ ,  $m_{\text{дел}}$  в выражение (2.14), получим среднюю квадратическую погрешность взгляда, равную

$$m_{\text{взгл.}} = \sqrt{0,97^2 + 0,74^2 + 0,97^2 + 0,5^2} = \pm 1,64 \text{ мм.}$$

Погрешность превышения на основании выражения (2.10) будет равна

$$m_h = m_{\text{взгл.}} \sqrt{2} = 1,64 \sqrt{2} = \pm 2,3 \text{ мм}$$

(погрешность превышения на одной стоянке).

Средняя квадратическая погрешность превышения получена применительно к нивелированию IV класса.

Средняя квадратическая погрешность превышения измерения наиболее слабого места (репера) определяется по формуле [6]

$$m_s = m_h \sqrt{n}, \quad (2.15)$$

где  $m_s$  - средняя квадратическая погрешность измерения превышения наиболее слабого места (репера);  $m_h$  - средняя квадратическая погрешность измеренного превышения;  $n$  - количество стоянок в нивелирном ходе.

При геометрическом нивелировании IV класса максимальное расстояние от нивелира до реек составляет 100 м. На 1 км нивелирного хода будет приходиться 5 стоянок. Следовательно, средняя квадратическая погрешность геометрического хода нивелирования IV класса длиной 1 км определяется из следующего выражения

$$m_n = m_h \sqrt{n} = 2,3\sqrt{5} = \pm 5,2 \text{ мм.}$$

Допустимая погрешность превышения нивелирного хода не должна превышать:

$$f_{\text{доп}} \leq \pm 3m_n. \quad (2.16)$$

В нашем случае при длине хода 1 км допустимая погрешность превышения составит  $\pm 15,6$  мм.

Согласно Инструкции по нивелированию IV класс нивелирования дает точность  $\pm 20 \sqrt{L}$  мм. При длине хода в 1 км допустимая погрешность превышения составит  $\pm 20$  мм.

Таким образом, применение нивелира с увеличением зрительной трубы, равной  $\nu = 30^x$  и ценой деления пузырька уровня  $\tau = 20''$ , позволит обеспечить точность геометрического нивелирования IV класса.

Для обеспечения точности геометрического нивелирования III класса потребуется использование более высокоточных нивелиров и методики производства работ, соответствующей III классу нивелирования.

### 3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Камеральную обработку результатов наблюдений выполняют по окончании каждой серии измерений. Она включает следующие операции:

1. Проверку полевых журналов, уточнение и приведение в порядок записей визуальных наблюдений и других заметок.

2. Вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции.

3. Вычисление горизонтальных расстояний между реперами профильных линий (с введением всех поправок).

4. Вычисление ординат (если они измерялись).

5. В специальных ведомостях по каждой профильной линии проводят вычисления:

вертикальных сдвижений (оседаний) реперов;

горизонтальных сдвижений реперов вдоль профильных линий и перпендикулярно к ним (если измерялись ординаты);

вертикальных деформаций (наклонов и кривизны) мульды сдвижения;

горизонтальных деформаций (растяжений, сжатий) интервалов между реперами.

6. Составление ведомостей вертикальных и горизонтальных деформаций.

7. Составление графиков вертикальных и горизонтальных деформаций по профильным линиям.

Вычисление превышений и отметок реперов при геометрическом нивелировании проводят в журнале нивелирования, а уравнивание нивелирных ходов – в специальном журнале методом приближений или полигонов. Вычисление превышений и отметок реперов при тригонометрическом нивелировании выполняют в специальном журнале. Отметки реперов после обработки каждой серии наблюдений заносят в ведомость оседания реперов. Величину оседания репера определяют по формуле

$$\eta = H_{n-1} - H_n, \quad (3.1)$$

где  $H_{n-1}$  — отметка репера из предыдущего или начального наблюдения;  $H_n$  — отметка репера из последующего наблюдения.

По данным ведомостей оседания реперов составляют ведомости вертикальных деформаций – наклонов и кривизны. Наклоны определяют по формуле



$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{d}, \quad (3.2)$$

где  $\eta_n$  – вертикальное сдвигение переднего репера;  $\eta_{n-1}$  – вертикальное сдвигение заднего репера;  $d$  – горизонтальная длина интервала между реперами (от начального наблюдения).

Наклоны – величины безразмерные. При построении графиков вертикальных деформаций (наклонов) величины их относят к середине интервала.

Кривизну определяют по формуле:

$$k = (i_n - i_{n-1}) / d_{cp}, \quad (3.3)$$

где  $i_n$  – наклон последующего интервала;  $i_{n-1}$  – наклон предыдущего интервала;  $d_{cp} = (d_n + d_{n-1})/2$  – полусумма горизонтальных длин последующего и предыдущего интервалов (из начального наблюдения).

При построении графиков полученную кривизну относят к общей точке смежных интервалов. Радиус кривизны (величину, обратную кривизне) определяют по формуле  $R = 1/k$  и выражают в километрах.

Относительные горизонтальные деформации интервала между реперами за период между двумя наблюдениями определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{d_n - d_{n-1}}{d}, \quad (3.4)$$

а за весь период наблюдений – от начального до данного – по формуле

$$\varepsilon = \frac{d_n - d}{d}, \quad (3.5)$$

где  $d$ ,  $d_n$ ,  $d_{n-1}$  — горизонтальные длины интервалов соответственно из начального, предыдущего и последующего (данного) наблюдений.

Горизонтальные деформации, соответствующие увеличению интервала, называют растяжениями, а деформации отвечающие уменьшению интервала, – сжатиями. При построении графиков горизонтальные деформации относят к середине интервала.

Масштабы графиков оседаний, наклонов, кривизны и горизонтальных деформаций выбирают, исходя из удобства и наглядности изо-

бражения. При этом масштаб расстояний между реперами принимают таким же, как на планах.

Графики наклонов, горизонтальных и вертикальных сдвижений и деформаций по профильной линии строят следующим образом. От горизонтальной (исходной) линии, на которой нанесено плановое положение реперов профильной линии, в принятом масштабе откладывают вверх положительные, а вниз – отрицательные значения соответствующих величин сдвижений реперов или деформаций интервалов между ними (оседания реперов принято откладывать вниз, а поднятия – вверх). Значения сдвижений реперов откладывают непосредственно от точек, изображающих их положение на исходной линии, а деформации интервалов между реперами – от их середин. Концы отрезков соединяют ломаной или плавной линией.

На построенных графиках определяют точки опасных деформаций в соответствии с величинами предельных деформаций, которые выбираются на основании СНиП 2.02.01–83 и оценивают технические состояние зданий и сооружений по величинам предельных деформаций, приведенных в табл. 3.

*Таблица 3*

**Предельные деформации основания (СНиП 2.02.01–83)**

Сооружения	Предельные деформации	
	Наклон $i$	Оседание $\eta$ , мм
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные с полным каркасом: железобетонным стальным	0,002	80
	0,004	120
2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,005	150
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими степенями: из крупных панелей из крупных блоков или кирпичной кладки без армирования то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов	0,0016	100
	00020	100
	0,0024	150

Предельные относительные горизонтальные деформации растяжения-сжатия интервалов профильных линий не должны превышать  $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ , кривизна  $k = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ .

#### 4. ПРИМЕР СОСТАВЛЕНИЯ ПРОЕКТА НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Под пятиэтажным жилым домом, согласно проекта, будет проходить подземный коллектор на глубине 30 м. В связи с этим на земной поверхности до того, как подземная горная выработка подойдет к жилому дому, необходимо определить параметры мульды сдвижения и деформации земной поверхности, обусловленные влиянием горной выработки. Для этого на земной поверхности заложена наблюдательная станция, которая состоит из системы опорных, грунтовых и рабочих реперов и рабочих стенок. Схематично наблюдательная станция представлена на рис. 4.1. Станция состоит из 20 ственных марок, двух опорных реперов (А и В), девяти рабочих и пяти грунтовых реперов (I-IV).

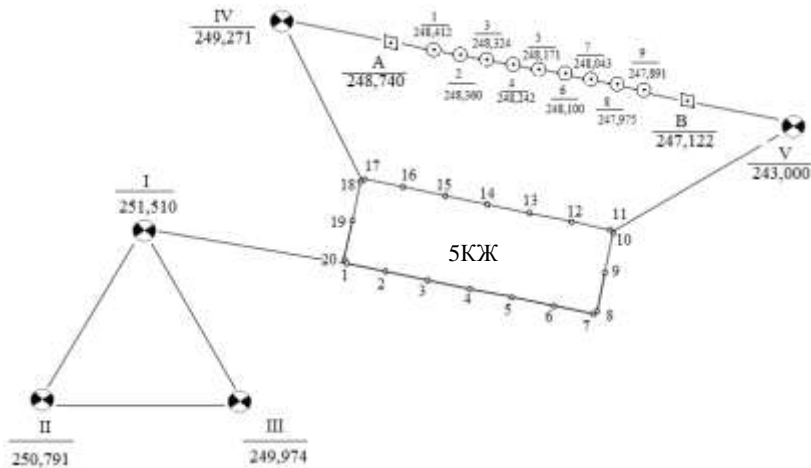


Рис. 4.1. Схема наблюдательной станции:

- грунтовый репер
- опорный репер
- рабочий репер
- ственная марка

Конструкция грунтовых реперов наблюдательной станции приведена на рис. 4.2.

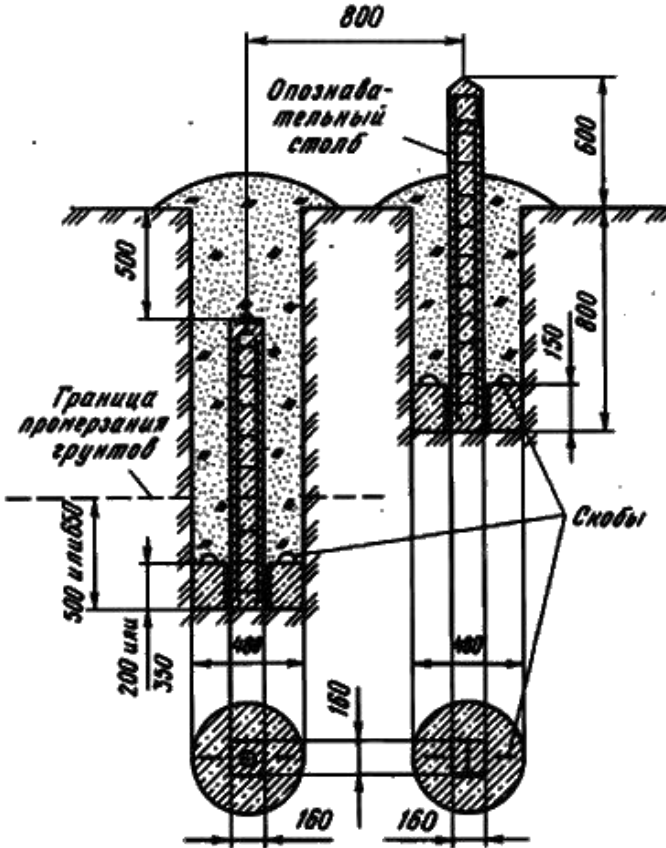


Рис. 4.2. Грунтовый репер

Грунтовый репер состоит из железобетонного пилона в форме параллелепипеда с поперечным сечением  $16 \times 16$  см и бетонной плиты (якоря) диаметром 48 см, изготавливаемых заранее. Разрешается применять плиты квадратного сечения размером  $50 \times 50$  см. В верхнюю грань пилона должна быть зацементирована марка. В середине бетонной плиты делают выемку размером  $20 \times 20 \times 15$  см, в которую устанавливают железобетонный пилон. Пилон может быть заменен асбоцементной трубой с внешним диаметром не менее 16 см, заполненной бетоном с арматурой. В верхнюю грань трубы вставляют марку.

При использовании асбоцементной трубы для увеличения связи ее основания с якорем на расстоянии 7-10 см от основания трубы встав-

ляют два взаимно перпендикулярных стержня толщиной 1,0-1,2 см и длиной 25 см. При установке трубы в отверстие якоря концы стержней размещают в углах выемки.

В качестве опорных (А и В) и рабочих реперов при глубине промерзания грунта до 1,5 м применяют реперы, заложенные в скважинах (рис. 4.3). Корпус репера 2 изготовляют из отрезков прутковой, буровой, арматурной стали диаметром 25-30 мм или из толстостенных металлических труб. Длину репера рассчитывают с учетом размеров, приведенных на рис. К нижней части корпуса приваривают крестовину 4, а на верхнем торце высверливают на глубину 2-3 мм цилиндрическое глухое отверстие диаметром 2,0 мм.

На трубчатых корпусах предварительно (сваркой) закрепляют головку репера 1. Нижнюю часть скважины заполняют бетоном 5 на высоту 200-300 мм, выше засыпают сыпучий материал 3.

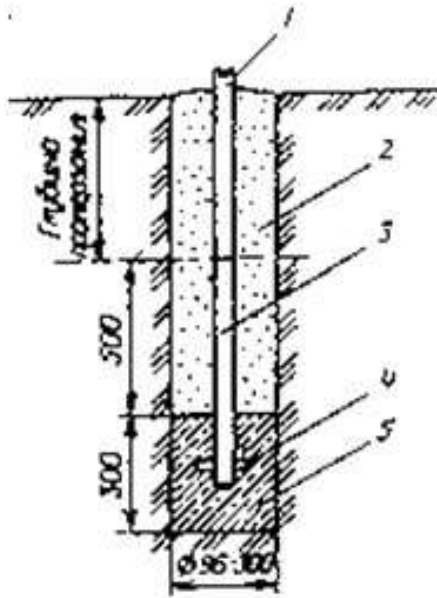


Рис. 4.3. Опорный репер

Стенные марки закладываются по всему периметру здания через равные расстояния. Их устанавливают приблизительно на одном уровне, на углах здания или сооружения, у осадочного шва по обе стороны, в местах примыкания поперечных и продольных стен. Расстояние

между марками зависит от инженерно-геологических условий, конструкции фундаментов, ожидаемой величины осадки и ее неравномерности, а также от цели, с которой проводятся измерения осадок.

На здании с кирпичными стенами марки устанавливают через 5-15 м, располагая их на углах здания, у торцов несущих стен, в лестничных клетках. В фундаментах, дымовых трубах, доменных печах и других сооружениях подобного типа, допускается установка трех-четырёх марок по периметру.

Перед закладкой реперов, наблюдательные станции осуществляются разбивкой линий, и в установках колышков на местах будущих реперов, по средствам инструментального взвешивания. Отклонение от профильной линии, допускается не более 5 см. В рыхлых грунтах больших мощностей и в заболоченной местности, опорные реперы, закладываются в скважины с углублением в грунт не менее чем на 2 м.

Пользование реперами допускается не ранее 10 дней после окончания работ по их устройству. Закладку грунтовых и стальных реперов рекомендуется производить в весенне-летний период. При установке грунтовых реперов в зимний период котлованным способом должны быть предусмотрены меры по обеспечению сохранности основания от промораживания.

В каждом цикле измерений при проведении работ по наблюдению за осадками фундаментов сооружений необходимо контролировать устойчивость исходных реперов. Систематические изменения превышений между реперами от цикла к циклу наблюдений, появление невязок ходов преимущественно с одним знаком свидетельствует об изменении высотного положения исходных реперов.

Точность и периодичность измерений должны быть указаны в техническом задании на производство работ или могут быть получены путем специальных расчетов.

Если исходят из нормативных показателей, то значение необходимой точности часто определяют по величине ожидаемых перемещений. В табл. 1 (ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений) приведены нормативные показатели допустимых погрешностей, с учетом которых устанавливается класс точности измерения горизонтальных и вертикальных смещений [6].

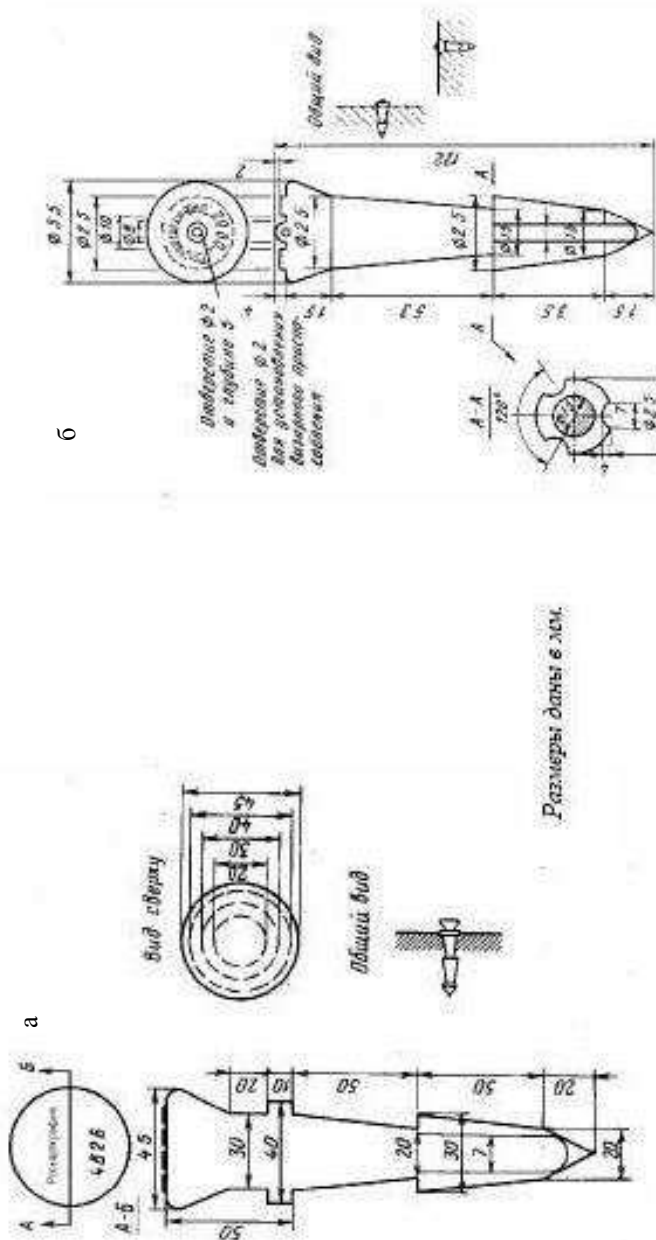


Рис. 4.4. Стенные марки:  
 а – для линий нивелирования I и II класса; б – для линий нивелирования III и IV класса

Указанные диапазоны точности измерений характеризуются различными методиками производства работ и классами измерений - от высокоточных и точных измерений до технических. Для измерения деформаций приняты классы точности измерений, которые нельзя отождествлять с классами построения плановых и высотных геодезических сетей.

Пятиэтажное жилое кирпичное здание, за которым необходимо осуществлять геодезические наблюдения, возведено на глинистом грунте, в техническом задании для него предусмотрена величина горизонтальных или вертикальных перемещений равная 260 мм. В соответствии с этой величиной по табл. 1 определили допускаемую погрешность измерения вертикальных перемещений  $m_s = 5$  мм. Для полученного значения допускаемой погрешности по табл. 2 определили класс точности измерений (III).

Таблица 4

### Классы нивелирования

Класс нивелирования	Длины плеч, м	Число линий	Число ходов	Допустимая невязка	Средняя квадратическая ошибка превышения на станции, мм
I	50	4	2	$3\sqrt{L}$	0,32
II	65	2	2	$5\sqrt{L}$	0,42
III	75	2	2	$10\sqrt{L}$	0,92
IV	100	1	1	$20\sqrt{L}$	3,0
Техническое	125	1	1	$50\sqrt{L}$	8,3

Для обоснования класса измерений рассчитываем среднюю квадратическую ошибку (СКО) одного превышения  $m_h$  для наиболее слабого места марки б при количестве стоянок  $n = 14$  и  $m_s = 5$  мм по формуле [6]

$$m_h = \frac{m_s}{\sqrt{n}} = \frac{5}{\sqrt{14}} = 1,34 \text{ мм}$$

где  $m_h$  - СКО одного превышения,  $m_s$  - допустимая погрешность определения отметок, а  $n$  - количество стоянок в ходе.

По данным табл. 4 при СКО равном 1,34 мм в наиболее слабом месте стенная марка б, класс нивелирования должен соответствовать III классу.



Таблица 5

## Ведомость горизонтальных деформаций по профильной линии 1-1

№ репера	1-я серия наблюдений (15.10.15)	2-я серия наблюдений (25.10.15)			3-я серия наблюдений (27.11.15)		
	Длина интервала $d1$ , м	Длина интервала $d2$ , м	Абсолютная деформация $\Delta d$ , мм	Относительная деформация $\varepsilon \cdot 10^3$	Длина интервала $d3$ , м	Абсолютная деформация $\Delta d$ , мм	Относительная деформация $\varepsilon \cdot 10^3$
IV-A	49,859	49,858	-1,0	-0,020	49,858	-1,0	-0,020
A-1	49,998	49,999	1,0	0,020	49,999	1,0	0,020
1-2	5,035	5,037	2,0	0,397	5,038	3,0	0,595
2-3	5,021	5,024	3,0	0,597	5,027	6,0	1,193
3-4	5,051	5,055	4,0	0,791	5,059	8,0	1,580
4-5	5,055	5,061	6,0	1,181	5,065	10,0	1,965
5-6	4,988	4,995	7,0	1,401	5,007	12,0	2,397
6-7	5,002	5,007	5,0	0,999	5,009	7,0	1,396
7-8	4,962	4,965	3,0	0,604	4,907	5,0	1,006
8-9	5,078	5,080	2,0	0,394	5,081	3,0	0,590
9-B	49,875	49,876	1,0	0,020	49,874	-1,0	-0,020
B-V	49,981	49,980	-1,0	-0,020	49,982	1,0	0,020

По результатам геодезических инструментальных наблюдений по профильной линии 1-1 составляются ведомости горизонтальных (табл. 5) и вертикальных деформаций (табл. 6) реперов.

## Ведомость вертикальных деформаций по профильной линии 1-1

№ репера	1-я серия наблюдений (15.10.15)	2-я серия наблюдений (25.10.15)				3-я серия наблюдений (27.11.15)			
	Отметки реперов $H_1$ , м	Отметки реперов $H_2$ , м	Оседание $\eta$ , мм	Наклон $i \cdot 10^3$	Кривизна $K \cdot 10^3$ , 1/мм	Отметки реперов $H_3$ , м	Оседание $\eta$ , мм	Наклон $i \cdot 10^3$	Кривизна $K \cdot 10^3$ , 1/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IV	249,271	249,2710	0,0			249,2710	0,0		
A	248,740	248,7392	-0,8	-0,016	0,000	249,7391	-0,9	-0,018	0,000
1	248,412	248,4101	-1,9	-0,022	0,004	248,4099	-2,1	-0,024	0,000
2	248,360	248,3585	-1,5	0,079	-0,083	248,3578	-2,2	-0,020	-0,087
3	248,324	248,3208	-3,2	-0,338	0,020	248,3195	-4,5	-0,467	0,067
4	248,242	248,2376	-4,4	-0,237	0,020	248,2369	-5,1	-0,119	-0,066
5	248,171	248,1659	-5,1	-0,138	0,067	248,1536	-7,4	-0,452	0,169
6	248,100	248,0959	-4,1	0,200	-0,004	248,0946	-5,4	0,399	-0,028
7	248,043	248,0398	-3,2	0,180	0,008	248,0389	-4,1	0,259	-0,028
8	247,975	247,9729	-2,1	0,222	-0,021	248,9705	-3,5	0,121	0,035
9	247,891	247,8895	-1,5	0,118	-0,004	248,8890	-2,0	0,295	-0,010
B	247,122	247,1210	1,0	0,010	0,000	247,1209	-1,1	0,018	0,000
V	246,000	246,0000	0,0	-0,020		246,0000	0,0	0,022	

По полученным значениям вертикальных и горизонтальных деформаций строят графики оседаний, наклонов, кривизны и относительных горизонтальных деформаций (рис. 4.5-4.8). По графикам определяют места опасных деформаций зданий, сооружений и земной поверхности в соответствии с величинами предельно допустимых деформаций на основании СНиП 2.02.01-83 и оценивают техническое состояние зданий и сооружений.

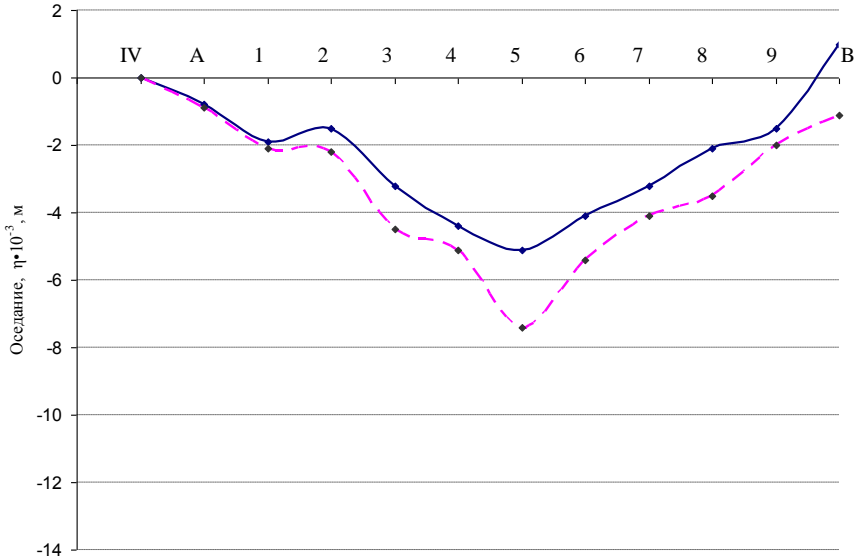


Рис. 4.5. Графики оседаний по профильной линии I-I:

—●— 2-е наблюдение 25.10.2015; —◆— 3-е наблюдение 27.11.2015

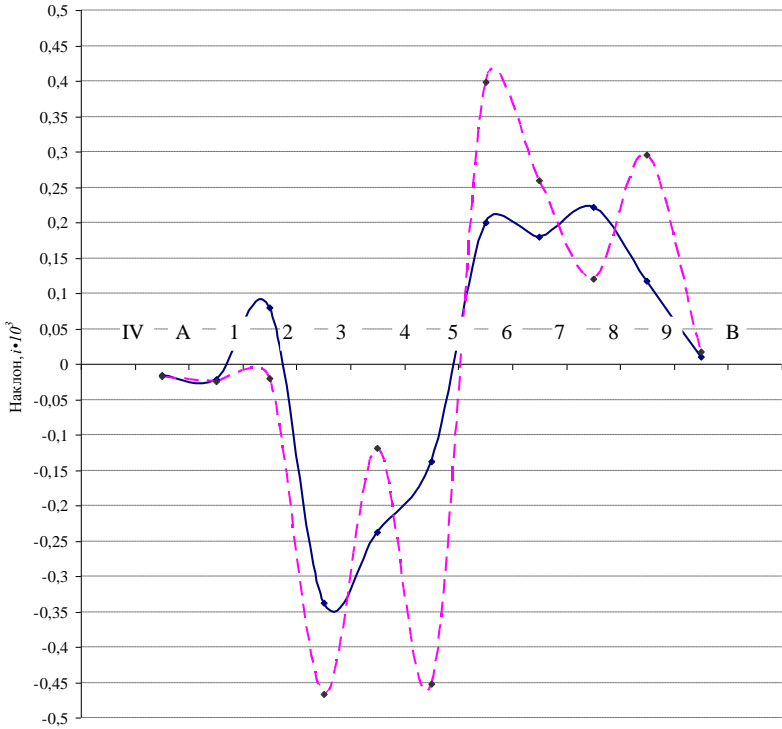


Рис. 4.6. Графики наклонов по профильной линии I-I:

—●— 2-е наблюдение 25.10.2015; —◆— 3-е наблюдение 27.11.2015

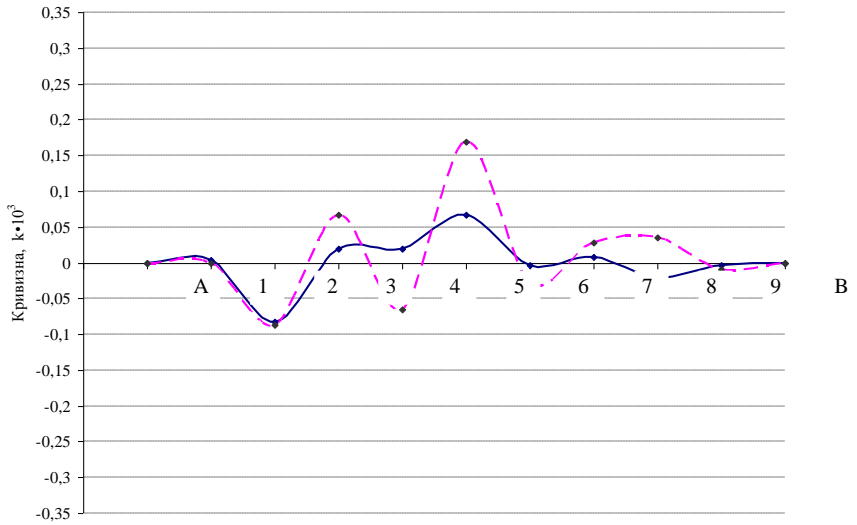


Рис. 4.7. Графики кривизны по профильной линии I-I:

—●— 2-е наблюдение 25.10.2015; —◆— 3-е наблюдение 27.11.2015

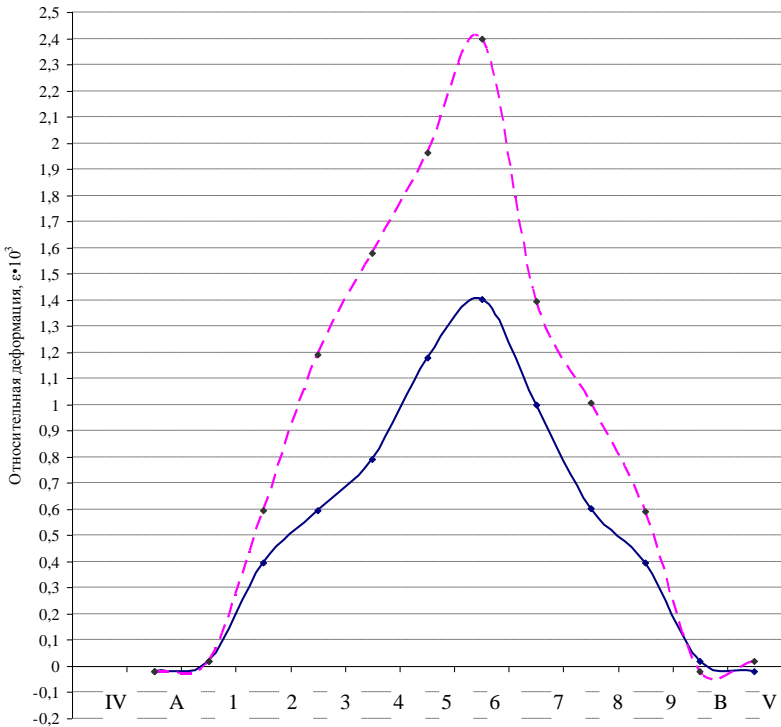


Рис. 4.8. Графики относительных горизонтальных деформаций по профильной линии I-I:

—●— 2-е наблюдение 25.10.2015; —◆— 3-е наблюдение 27.11.2015

На графике (рис. 4.8) видно, что между реперами 5 и 6 значение относительной горизонтальной деформации  $\epsilon = 2,4 \cdot 10^{-3}$ , что превышает предельно допустимое значение  $\epsilon = 2,0 \cdot 10^{-3}$ . На остальных графиках критические значения наклонов и кривизны не превышают предельных значений величин.

Проанализировав данные наблюдений можно сделать вывод о том, что здание, под которым будет проходить подземная выработка, может получить предельные деформации растяжения. До подхода коллектора к жилому пятиэтажному дому рекомендуется разработать инженерно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию жилого дома, и проконтролировать их выполнение.

### Библиографический список

1. Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” от 21.07.97 №116 ФЗ.
2. Федеральный закон "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009 N 384-ФЗ.
3. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений / под ред. Е. М. Перепонова. – М., 1975.
4. ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений.
5. Геодезия: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М.: Колос, 2006. – 598 с.
6. *Авакян, В. В.* Прикладная геодезия: учебное пособие / В. В. Авакян. - 2-е изд., испр. - М.: Вузовская книга, 2012. – 256 с.
7. СНиП 2.02.01–83. Основания зданий и сооружений / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
8. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-02.

