

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение .....	5
1. Основные положения. Мониторинг: цели и задачи .....	7
2. Нормативные предельные деформации зданий и сооружений .....	8
3. Техническое задание на проведение геодезического мониторинга .....	12
4. Проект производства геодезических работ по наблюдению за перемещениями зданий и сооружений .....	13
5. Виды и причины смещений зданий и сооружений .....	14
6. Типы геодезических знаков .....	16
6.1. Опорные (исходные) знаки (реперы) .....	16
6.2. Осадочные марки (реперы) .....	22
7. Геодезические наблюдения вертикальных перемещений зданий и сооружений .....	23
8. Геодезические наблюдения горизонтальных перемещений зданий и сооружений .....	62
9. Математический анализ результатов измерений .....	66
10. Расчет точности наблюдений за деформациями высотных зданий и сооружений с использованием электронных тахеометров .....	74
11. Геодезические наблюдения за шпунтом .....	81
12. Наблюдения за трещинами в конструкциях .....	86
13. Мониторинг крановых путей .....	88
14. Мониторинг строительных подъемников .....	93
15. Спутниковые технологии и мониторинг зданий и сооружений .....	94
16. Определение смещений лазерным сканированием .....	95
17. Автоматизированные системы геодезического мониторинга .....	97
18. Видеоизмерения .....	97
19. Отчетная документация .....	98
20. Создание опорной геодезической сети на строительной площадке .....	101

20.1. Проектирование полигонометрического хода заданной точности .....	101
20.2. Типовые фигуры линейной и линейно-угловой сети.....	109
20.3. Микротрилатерация .....	118
20.3.1. Общие сведения .....	118
20.3.2. Типовые сети микротрилатерации .....	123
20.3.3. Специфика уравнивания результатов повторных циклов наблюдений .....	129
20.3.4. Метод трилатерации в решении некоторых инженерно-геодезических задач.....	132
Библиографический список .....	138

## ВВЕДЕНИЕ

В работе даны рекомендации по организации и выполнению наиболее распространенных методов мониторинга зданий и сооружений геодезическими измерениями как в период их строительства, так и при эксплуатации.

Целью мониторинга является выявление степени физического состояния строительных конструкций, влияния различных факторов на их фактическое состояние и проектную работоспособность. Для решения указанной задачи проводят техническую диагностику и техническое обследование. В зависимости от поставленных задач при техническом обследовании применяют или паспортизацию, или предварительное обследование, или детальное обследование объекта.

Основой выполнения геодезических измерений при детальном обследовании эксплуатируемого здания является техническое задание.

Для вновь возводимого здания наблюдение за перемещениями его в пространстве должно быть составной частью общего комплекса геодезических работ на объекте и отражено в проекте производства геодезических работ (ППГР), в том числе и на период после завершения строительства до их полной стабилизации.

В ряде работ, например [6, 7], доказано, что неучтенные перемещения построенной части здания могут привести к погрешностям в разбивочных работах, превышающим нормативные допуски в процессе строительства. Это снижает проектные характеристики эксплуатационных свойств зданий, сокращает их долговечность, а иногда приводит и к разрушению.

Недооценка важности мониторинга или его отсутствие в целях экономии материальных средств приводят иногда к трагическим последствиям. Подобные факты известны как из специальной литературы [21], так и из современного опыта строительного производства, последним ярким примером которого является обрушение межэтажного перекрытия в казарме учебного центра ВДВ МО РФ (г. Омск).

Из изложенного следует вывод, что необходимо законодательно закрепить включение в состав проекта строительства инженерного сооружения раздел его геодезического мониторинга в процессе возведения и эксплуатации. Это позволит в полном объеме обеспечить выполнение указанных работ материальными ресурсами, соответствующими современным средствам геодезических измерений и их математической обработки, что и обеспечит их качественное выполнение.

Авторы надеются, что данная работа будет способствовать решению этой важной задачи.

*Авторы благодарны рецензентам кандидату технических наук А.Г. Парамонову и кандидату технических наук И.И. Ранову за замечания и предложения по совершенствованию рукописи работы, которые определенно способствовали улучшению ее содержания.*

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. МОНИТОРИНГ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Вопросы геодезических наблюдений за перемещениями зданий и сооружений рассматриваются в ряде ранее изданных нормативных документов: СНиПах, руководствах, указаниях и технической литературе, которые в настоящее время постепенно переносятся в своды правил (СП). В указанных материалах изложена методика организации и проведения геодезических наблюдений за зданиями и сооружениями, проводимых лишь в том случае, если имеется соответствующее решение проектной организации [4, п. 3.71]. Эти решения принимаются:

- при наличии специальных указаний в задании на проектирование;
- если ожидаемые деформации близки к предельным;
- если применяются новые или недостаточно изученные конструкции зданий.

Согласно [1, п. 1.3], обеспечение геодезических наблюдений за перемещениями и деформациями строящихся зданий и сооружений является функцией заказчика.

Наряду с наблюдениями за осадками, проводятся натурные измерения кренов высотных сооружений как в процессе их строительства, так и в период эксплуатации [3, п. 1.2]. Организация измерений кренов сооружений башенного типа в процессе эксплуатации необходима, так как всегда происходит неравномерный нагрев стен по технологическим причинам, например, дымовых труб, а также вследствие солнечного излучения. Имеют место и динамические ветровые нагрузки.

Все эти факторы в сочетании с неравномерной осадкой фундаментов увеличивают отрицательное воздействие на устойчивость сооружения и могут вызвать деформации, превышающие предельные, что может привести к нежелательным последствиям.

Практика показала, что необходимость проведения наблюдений за перемещениями и деформациями возводимых зданий и сооружений возникает не только в целях совершенствования проектных решений, но и в целях определения количественных величин перемещений частей зданий в процессе их строительства с целью учета этих величин при выполнении разбивочных работ для смежных частей зданий, для монтажа конструкций и оборудования, а также для оценки в целом эксплуатационных свойств возведенных зданий.

Практически целесообразно геодезический мониторинг в процессе строительства проводить по сокращенной программе при строительстве следующих зданий:

- более 18 этажей;
- при изменении привязки здания без дополнительных геологических изысканий грунта основания;
- возводимых на насыпных грунтах;
- сооружений башенного типа, высота которых более 50 м.

Целесообразно проводить наблюдения за смещениями возводимых фундаментов под оборудование большой массы (вплоть до монтажа последнего) и в период эксплуатации, особенно в случае резкого изменения температуры или обильного замачивании глинистого основания фундаментов. Такие условия могут иметь место при эксплуатации оборудования атомных и гидроэлектростанций.

## 2. НОРМАТИВНЫЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Согласно СНиП [4], предельные величины деформаций и осадки оснований не должны превышать установленных проектом величин. В противном случае должны быть разработаны конструктивные решения, снижающие чувствительность здания, сооружения или технологического оборудования к повышенной деформации основания.

Согласно тому же СНиП, для объектов нового строительства и реконструкции необходимо проводить геотехнический мониторинг оснований фундаментов и конструкций для следующих сооружений:

- имеющих высоту более 75 м;
- вновь возводимых при I и II уровне ответственности, высотой менее 75 м;
- реконструируемых I и II уровней ответственности.

В СНиП [4] регламентируются предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства (табл. 2.1), реконструируемых зданий (табл. 2.2) и сооружений окружающей застройки (табл. 2.3).

Таблица 2.1

### Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства

Сооружения	Предельная деформация основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $\Delta_s/L$	Крен $i$	Максимальная $S_{\max}$ или средняя $S_{\text{ср}}$ , см
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом:			
– железобетонным	0,002	—	10
– то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий	0,003	—	15
– здания монолитной конструкции со стальным каркасом	0,004	—	15
– то же с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий	0,005	—	18

Сооружения	Предельная деформация основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $\Delta_S/L$	Крен $i$	Максимальная $S_{\max}$ или средняя $S_{\text{ср}}$ , см
2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают условия от неравномерных осадок	0,006	—	20
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из:			
– крупных панелей	0,0016	—	12
– крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020	—	12
– то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,024	—	18
4. Сооружения элеваторов из железобетонных конструкций:			
– рабочее здание и силосный корпус монолитной конструкции на одной фундаментной плите	—	0,003	40
– то же, сборной конструкции;	—	0,003	30
– отдельно стоящий силосный корпус монолитной конструкции	—	0,004	40
– то же, сборной конструкции	—	0,004	30
5. Дымовые трубы высотой $H$ , м:			
$H \leq 100$	—	0,005	40
$100 < H \leq 200$	—	$1/(2H)$	30
$200 < H \leq 300$	—	$1/(2H)$	20
$H > 300$	—	$1/(2H)$	10
6. Жесткие сооружения высотой до 100 м, кроме указанных в п. 4 и 5	—	0,004	20
7. Антенные сооружения связи:			
– стволы мачт заземленные	—	0,002	20
– то же, электрически изолированные	—	0,001	10
– башни радио	0,002	—	—
– башни коротковолновых радиостанций	0,0025	—	—
– башни (отдельные блоки)	0,001	—	—

Уровень ответственности сооружений (уровень технического состояния здания) определяется по ГОСТ 27751: I — повышенный; II — нормальный и III — пониженный.

Таблица 2.2

**Предельные дополнительные деформации основания фундаментов реконструируемых зданий**

Сооружения	Предельные дополнительные деформация основания фундаментов		
	Категории технического состояния зданий	Относительная разность осадок $\Delta_S / L$	Максимальная осадка $S_{\max}$ или средняя $S_{\text{ср}}$ , 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



**Предельные дополнительные деформации основания фундаментов сооружений окружающей застройки, расположенных в зоне влияния нового строительства или реконструкции**

Сооружения	Предельные дополнительные деформации основания фундаментов		
	Категории технического состояния зданий	Относительная разность осадок $\Delta_s/L$	Максимальная $S_{\max}$ или средняя $S_{\text{ср}}$ , 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

Зона влияния нового строительства или реконструкции пропорциональна глубине котлована  $H$  и назначается от  $2H$  до  $5H$  в зависимости от устройства его ограждения.

### 3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В случае необходимости выполнения наблюдений за перемещениями строящихся зданий и сооружений заказчик совместно с исполнителем разрабатывает техническое задание.

Согласно [1, п. 5.1], в техническом задании указываются:

- части зданий и сооружений, за которыми следует вести наблюдения;
- расположение опорных и контрольных марок и реперов;
- периодичность наблюдений;
- точность наблюдений;
- перечень отчетных документов.

Согласно [2, п. 8—11], для гражданских зданий марки располагают по его периметру через 10—12 м, с обязательной их установкой на углах здания, в местах примыкания продольных и поперечных стен, у усачных швов — по обе их стороны. При ширине здания более 15 м марки устанавливают в лестничных клетках и на внутренней продольной оси здания.

Для промышленных и сборно-каркасных гражданских зданий марки устанавливают на несущих колоннах по периметру здания и внутри него, причем расстояние между марками должно быть не менее 10 м.

Для многоэтажных зданий, имеющих фундаментную плиту, марки размещают по линиям наиболее возможных осадок, определяемых в результате расчетов прогнозируемых перемещений на основе геологического исследования грунтов.

В случае примыкания вновь строящегося здания к существующему марки устанавливают по обе стороны их примыкания.

Наблюдения должны выполняться с начала строительства и в первые годы эксплуатации до стабилизации осадок [2, п. 1].

Число циклов измерений осадок фундаментов в период строительства зданий или сооружений назначают с учетом увеличения нагрузки на фундаменты и возможных больших деформаций.

Измерение осадок рекомендуется продолжать и после окончания строительства: в период порядка 5 лет при глинистых грунтах основания и 2 года — при песчаных, но во всех случаях — до стабилизации осадок.

При резком изменении условий работы фундаментов (замачивание основания, резкое увеличение нагрузки и др.) проводят внеочередной цикл наблюдений [2, п. 3.15].

Погрешности определения осадок согласно [1, пп. 5.2—5.4] должны быть не более 1; 2 и 5 мм для зданий и сооружений, возводимых на скальных, полускальных грунтах и песчаных, глинистых, других сжимаемых грунтах соответственно.

Погрешности измерений кренов не должны быть более 0,0001 и 0,0005 для высотных зданий и сооружений башенного типа соответственно.

При составлении технического задания необходимо придерживаться указанных нормативных положений.

#### **4. ПРОЕКТ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПО МОНИТОРИНГУ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

На основании технического задания геодезическая служба организации, выполняющая наблюдения, разрабатывает специальный проект производства геодезических работ (ППГР), который согласно [3, п. 3.7] включает:

- обоснование необходимости выполнения мониторинга, его цели и задачи;
- выбор методики наблюдений;
- схему построения геодезической основы с указанием типов геодезических знаков и их расположения;
- расчет требуемой и ожидаемой точности создания обоснования и получаемых результатов измерений;
- перечень приборов и инструментов и состав исполнителей;
- календарный план работ;
- смету стоимости работ (при выполнении работ на договорных началах);
- перечень и формы отчетной документации.

Такой проект может входить отдельным разделом в общий ППГР на возведение здания или сооружения, т.е. быть составной частью комплекса геодезических работ, выполняемых на объекте в процессе его строительства.

ППГР согласовывается с главным инженером организации, которая выдала техническое задание на этот вид работ.

## 5. ВИДЫ И ПРИЧИНЫ СМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В общем случае происходит пространственное смещение зданий или сооружений как во время их строительства, так и при эксплуатации. Такие смещения называют *деформацией*, количественные величины которой можно характеризовать в трехмерном пространстве по осям  $X$ ,  $Y$  и  $H$ . Смещения в горизонтальной плоскости по осям  $X$  и  $Y$  называют *сдвигом*, а в вертикальной по оси  $H$  — *осадкой*, или *подъемом*. Для характеристики некоторых особенностей пространственных смещений применяют различные количественные величины: *средняя осадка*  $S_{\text{ср}}$ , *равномерная осадка*  $S_{\text{равн}}$ , *наибольшая осадка*  $S_{\text{наиб}}$ , *наименьшая осадка*  $S_{\text{наим}}$ , *неравномерная осадка*  $\Delta S$ , *относительная разность осадок*  $\Delta S_{\text{отн}}$ , *относительный прогиб*  $V_{\text{прог}}$  или *выгиб*  $V_{\text{выг}}$ , *продольный крен*  $K_{\text{прод}}$ , *поперечный крен*  $K_{\text{попер}}$  и др.

Средняя осадка определяется по формуле [8]

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum S}{n}, \quad (5.1)$$

где  $\sum S$  — сумма осадок всех наблюдаемых  $n$  точек.

Равномерная осадка

$$S_{\text{равн}} = S_{\text{наим}} \quad (5.2)$$

Неравномерная осадка

$$\Delta S = S_{\text{наиб}} - S_{\text{наим}} \quad (5.3)$$

Относительный прогиб или выгиб  $V$  вычисляется по формуле

$$V = 2S_2 - \frac{S_1 + S_3}{2L}, \quad (5.4)$$

где  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  — осадки первой, второй и третьей марки, мм, расположенных на прямой линии;

$L$  — расстояние между крайними марками в мм.

Относительная разность осадок

$$\Delta S_{\text{отн}} = \frac{S_1 - S_2}{L}, \quad (5.5)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  осадки соседних марок;

$L$  — расстояние между ними.

Для продольных и поперечных осей здания вычисляется относительный крен

$$K = \frac{S_a - S_b}{L}, \quad (5.6)$$

где  $S_a$  и  $S_b$  — осадки крайних марок по оси сооружения, мм;

$L$  — расстояние между этими марками, мм, соответственно вдоль или поперек сооружения.

Абсолютный крен или наклон  $K_{\text{абс}}$  вычисляется по формуле

$$K_{\text{абс}} = S_a - S_b, \quad (5.7)$$

где  $S_a$  и  $S_b$  — абсолютные осадки точек  $a$  и  $b$  на крайних гранях оси фундамента, мм.

Абсолютная величина крена, в отличие от относительной его величины, не характеризует устойчивость сооружения, потому что не учитывает размеры фундамента [15].

Скорость осадки  $W$  определяют по формуле

$$W = \frac{S_{\text{к}} - S_{\text{н}}}{t}, \quad (5.8)$$

где  $S_{\text{к}}$  и  $S_{\text{н}}$  — средняя осадка сооружения, мм, в конце и в начале периода наблюдений соответственно;

$t$  — время периода наблюдений (месяцы или годы).

Наряду с осадками в ряде случаев происходит подъем отдельных частей здания, который можно оценивать теми же характеристиками, что и осадки, но эти величины будут иметь противоположный знак.

Смещения зданий и сооружений происходит также и под влиянием жизнедеятельности человека [33].

Различные геофизические поля (гравитационные, магнитные, электрические, сейсмические и др.) оказывают влияние на сооружения. Земное тяготение в значительной степени определяет механические напряжения и деформации оснований сооружений. Строительство сооружений, проходка подземных выработок и различные земляные работы приводят к деформации сооружений и к неравномерной осадке всей застраиваемой территории.

Осадки промышленного здания возникают в случае вибрации машин, расположенных в нем. Так, наблюдениями, по данным [34], в течение трех лет за осадками промышленного здания каркасного типа размером 20 на 20 м выявлены осадки отдельных частей здания до 50 мм, что привело к появлению трещин в стенах цеха.

За последние годы возросла этажность, увеличились пролеты зданий и сооружений, появились многоэтажные комплексы со сложными конструктивными решениями. Сейсмостойкость таких объектов не регламентируется существующими нормами. Доля указанных объектов невелика, но они имеют высокий уровень ответственности и концентрируют в себе большое число людей.

В [48] рекомендуется учитывать величины деформаций бетона, твердеющего в естественных климатических условиях. Деформации возникают из-за усадки и расширения твердеющего бетона в разных

слоях его толщи. При толщине бетона 0,6 м усадочные деформации достигают 0,25 мм и более. Следует учитывать эти деформации и при закладке геодезических знаков в твердеющий бетон. Исследования устойчивости нивелирной сети в Петербурге показали [47], что основные виды смещения грунтовых реперов — поднятие (44%) и опускание (35%). Средняя скорость поднятия грунтовых знаков за 23 года составила 2,2 мм/год, а опускания — 0,44 мм/год. Максимальное смещение грунтового репера за тот же срок достигла +577 мм, а ственных за 45 лет — 360 мм. Основная причина поднятия — морозное пучение, а осадки — недостаточная несущая способность грунтов, служащих основанием фундаментов зданий и сооружений. В Москве за 14 лет свыше 45% геодезических знаков изменили свои отметки более чем на 10 мм. Для поддержания нивелирной сети города на уровне современных требований необходимо выполнять повторное нивелирование.

Повторное нивелирование в 1980 г. сети 20 глубинных и 45 фундаментальных реперов, заложенных в 1977 г. на территории города Москвы и лесопарковой зоны, показало, что территория Москвы испытывает как восходящие до +2 мм/год, так и нисходящие до 3 мм/год тектонические движения земной коры [55].

При организации мониторинга крупных гидротехнических сооружений, водохранилищ, плотин, туннелей рекомендуется [54] учитывать карты скоростей вертикальных движений земной поверхности, опубликованные в 1958 г. и уточненные в 1963 г. Согласно этим картам, западная часть территории РФ разделяется на зоны поднятия +10 мм/год и опускания 4 мм/год. Ошибки определения скоростей движения земной поверхности колеблются в пределах от 1,5 до 2,3 мм/год.

## **6. ТИПЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ЗНАКОВ**

### **6.1. Опорные (исходные) знаки (реперы)**

Достоверность результатов наблюдений за перемещениями зданий и сооружений зависит от выбора геодезических знаков, их конструкции и места установки. Условно знаки делят на исходные, деформационные, плановые и высотные.

Исходные знаки служат точкой отсчета перемещений исследуемых объектов и устанавливаются в местах наименьших возможных смещений, но в непосредственной близости от места наблюдаемого объекта. В противном случае погрешности передачи исходных данных к месту наблюдений могут быть выше нормативных.

Установка кустов глубинных исходных реперов связана со значительными материальными затратами. Их закладку выполняют или только на особо ответственных объектах, где перемещения оказывают влияние не только на работоспособность строительных конструкций, но и на технологический цикл работающего в них оборудования, или в научных целях. В большинстве случаев при наблюдениях за рядовыми зданиями ограничиваются установкой исходных реперов на конструкциях, в которых произошла стабилизация перемещений, и они не находятся в зоне осадок наблюдаемых зданий.

К расположению реперов предъявляются два требования: доступность и неподвижность. Эти требования сложно выполнить.

Репер, расположенный вблизи здания, получает значительные смещения и может быть использован только при контроле с практически неподвижного репера, установленного вне зоны осадок здания или сооружения. Следовательно, необходимо устанавливать два типа исходных реперов: основной, практически неподвижный, удаленный на 100—150 м, и рядовой, установленный вблизи сооружения.

Конструкция исходных геодезических знаков разнообразна [42, 56]. Они могут быть трубчатые, биметаллические, биструнные.

На высотное положение глубинных трубчатых реперов влияет температура воздуха и грунта. Проведенные исследования [42] показали, что температурные изменения длин трубчатых реперов, установленных на различной глубине от 2,8 до 21 м, отличаются друг от друга не более 0,13 мм. Это объясняется тем, что сезонные изменения температуры воздуха оказывают наибольшее влияние на верхнюю часть репера (глубиной 3-4 м). На глубине более 12 м температура трубы остается постоянной (+7,8 °С).

На основе проведенных исследований получена эмпирическая формула зависимости температурных деформаций  $\Delta$  реперных труб от температуры  $t$  °С окружающего воздуха в период проведения геодезических измерений:

$$\Delta = 0,04t \text{ } ^\circ\text{C} - 1. \quad (6.1)$$

В работе [53] рекомендуется определять длину  $D$  стержневых знаков в зависимости от глубины  $i$  промерзания грунта по формуле

$$D = 3,5i. \quad (6.2)$$

В табл. 6.1 приведена рекомендуемая длина трубчатых свай при разной глубине промерзания грунта.

Таблица 6.1

**Рекомендуемая длина трубчатых свай**

Глубина промерзания грунта, м	1,5	2,0	2,5	3,0
Длина сваи, м	5,25	7,00	8,75	10,5

Менее сложными, но не менее надежными являются свайные грунтовые реперы [27].

Свайный репер чаще всего устанавливается забивкой до отказа соответствующими механизмами.

Устойчивость геодезических грунтовых знаков зависит от годового хода влажности грунтов [34]. Грунтовые реперы, заложенные на глубину 1,8 м, изменяют свое положение в течение года более чем на 1—3 мм. На рис. 6.1 приведен график изменения положения грунтового репера, заложенного на глубину 1,8 м, в зависимости от времени года.

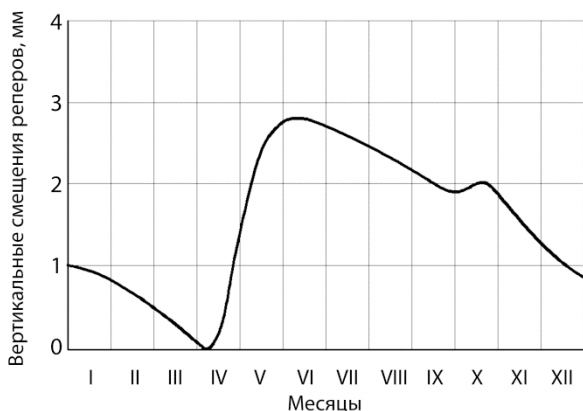


Рис. 6.1. График вертикальных смещений грунтового ( $h = 1,8$  м) репера в течение года

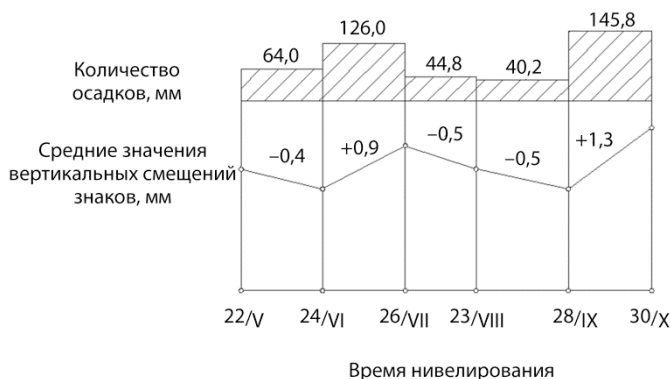


Рис. 6.2. График вертикальных смещений грунтовых реперов в зависимости от количества атмосферных осадков



Приведенный в [34] график (рис. 6.2) наглядно показывает, что вертикальные смещения реперов зависят от сезонного увлажнения грунта поверхностными водами. В этой же работе исследовалась устойчивость грунтовых знаков, установленных в суглинистых и песчаных грунтах на глубинах от 0,2 до 2,3 м.

Из графика на рис. 6.3 следует, что в суглинистых и песчаных грунтах при глубине заложения знаков 1,5—2,0 м влияние изменения влажности грунтов не превышает 1 мм. Наиболее значительные смещения (до 5 мм) испытывают знаки, установленные на глубине до 0,8 м.

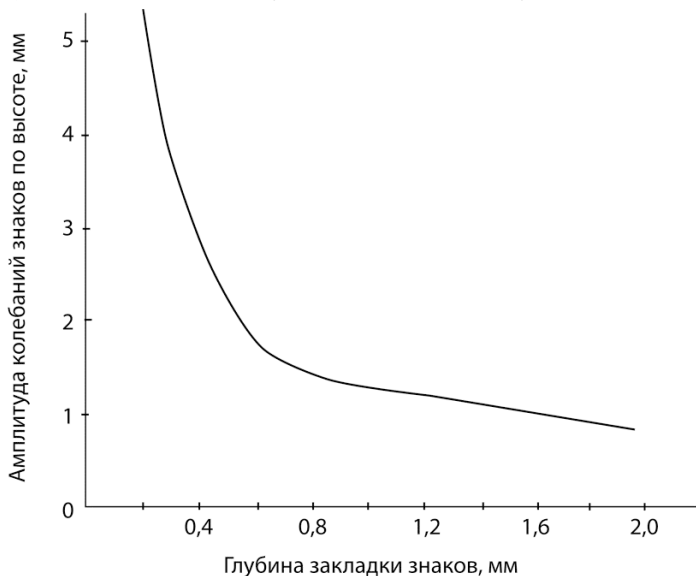


Рис. 6.3. График зависимости смещений геодезических знаков в зависимости от глубины их заложения

Грунтовые и стенные исходные знаки размещают вне зоны распространения давления от сооружения. При необходимости их размещают ближе к сооружению, а иногда — на самом сооружении. В этих случаях для обеспечения устойчивости знаков глубина их заложения должна быть ниже границы сжимаемой толщи грунтов под сооружением.

В качестве исходного репера, устанавливаемого на капитальном здании (как возможный вариант), можно предложить конструкцию (рис. 6.4), предложенную одним из авторов этой книги (Н.А. Шмелин).

Особенность этой конструкции состоит в том, что нивелирная инварная рейка принудительно устанавливается на головку знака. На рисунке приведены размерные величины, по которым можно изготовить такой знак в механических мастерских.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)