

---

**Саморегулируемая организация  
Ассоциация  
«Объединение организаций, выполняющих инженерные изыскания при  
архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции,  
капитальном ремонте объектов атомной отрасли «СОЮЗАТОМГЕО»  
(СРО «СОЮЗАТОМГЕО»)**

---

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

---

Утвержден  
решением Совета  
СРО «СОЮЗАТОМГЕО»,  
Протокол № 10/11-2023 от 28 ноября 2023 г.

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ**

**Обработка данных и анализ**

**СТО СРО-Г 60542954 00007–2023**

**Издание официальное**

**Москва**

**2023**

## **Предисловие**

1 РАЗРАБОТАН ООО «Центр технических компетенций атомной отрасли» (ООО «ЦТКАО»)

2 ВНЕСЕН Исполнительной дирекцией СРО «СОЮЗАТОМГЕО»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ решением Совета СРО «СОЮЗАТОМГЕО»,  
Протокол № 10/11–2023 от 28.11.2023 г.

4 ВЗАМЕН СТО СРО-Г 60542954 00007–2020

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения СРО «СОЮЗАТОМГЕО»

## Содержание

1 Область применения .....	1
2 Нормативные ссылки .....	1
3 Термины и определения .....	3
4 Сокращения .....	7
5 Общие положения .....	7
6 Организация геодезического мониторинга .....	9
6.1 Общие сведения .....	9
6.2 Техническое задание .....	10
6.3 Программа геодезического мониторинга .....	11
6.4 Метрологическое обеспечение геодезического мониторинга .....	13
7 Сети геодезического мониторинга .....	14
7.1 Классификация и назначение сети геодезического мониторинга .....	14
7.2 Геодезические пункты сетей геодезического мониторинга .....	14
7.3 Проектирование сетей геодезического мониторинга .....	18
7.4 Проектирование опорных сетей .....	23
8 Определение смещений деформационных знаков .....	25
8.1 Способы определения вертикальных смещений .....	25
8.2 Способы определения горизонтальных смещений .....	30
8.3 Способы определения крена .....	33
8.4 Способы определения изменения взаимного положения точек поверхности .....	39
8.5 Геодезические наблюдения за трещинами .....	42
8.6 Автоматизированные системы геодезического деформационного мониторинга .....	44
8.7 Камеральная обработка полевых измерений .....	45
9 Анализ и прогноз результатов геодезического мониторинга .....	47
9.1 Предварительная обработка данных мониторинга .....	47
9.2 Оценка устойчивости территории и стабильности опорной сети .....	50
9.3 Расчет параметров деформаций .....	58
9.4 Расчет скоростей параметров деформации .....	61
9.5 Расчет средней осадки и относительного крена .....	63
9.6 Расчет максимальной осадки и относительной разности осадки .....	70
9.7 Расчет относительного прогиба/выгиба .....	72
9.8 Расчет относительной кривизны кривой .....	73
9.9 Расчет горизонтальных смещений .....	73

9.10 Расчет параметров деформаций с учетом влияния современных движений земной поверхности объектов наблюдения.....	73
9.11 Оценка стабилизации осадки и деформаций.....	77
9.12 Прогнозирование.....	77
10 Отчетная информация геодезического мониторинга .....	79
11 Системы координат и высот, размерность результатов измерений.....	82
12 База данных и система управления базой данных геодезического мониторинга .....	82
13 Контроль выполнения геодезического мониторинга и авторский надзор за объектами наблюдений .....	84
13.1 Контроль выполнения геодезического мониторинга .....	84
13.2 Авторский надзор за объектами наблюдений .....	84
Приложение А (справочное) Примерный перечень объектов наблюдения, подлежащих геодезическому мониторингу (на примере атомных станций).....	85
Приложение Б (справочное) Основные формулы для расчета контролируемых параметров .....	88
Приложение В (рекомендуемое) Предельные значения параметров деформаций объектов наблюдения .....	92
Приложение Г (рекомендуемое) Цикличность геодезического мониторинга.....	99
Приложение Д (справочное) Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования .....	103
Приложение Е (рекомендуемое) Визуально-аналитический способ анализа временных рядов .....	107
Приложение Ж (рекомендуемое) Формы ведомостей и графиков, используемых при анализе и прогнозе результатов геодезического мониторинга.....	109
Приложение И (справочное) Оценка устойчивости опорной геодезической сети .....	121
Приложение К (справочное) Расчет средней осадки в геометрическом центре фундамента.....	128
Библиография .....	130

## **Введение**

Регистрация стандарта в Федеральном информационном фонде стандартов проведена на основании п. 6 статьи 21 Федерального закона от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» в соответствии с порядком регистрации стандартов организаций, в том числе технических условий, в Федеральном информационном фонде стандартов, утвержденном приказом Росстандарта от 30 апреля 2021 г. № 651.

Экспертным заключением ТК 322 «Атомная техника» рекомендован к утверждению в качестве стандарта организации СРО «СОЮЗАТОМГЕО» и регистрации в Федеральном информационном фонде стандартов.

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ****ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ****Обработка данных и анализ**

Дата введения – 2024–01–01

**1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт распространяется на геодезический мониторинг деформаций зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых атомных станций (далее – объекты наблюдения), включая фундаменты, несущие и ограждающих строительные конструкции, грунты и территории их размещения, технологическое оборудование, имеющее требования к устойчивости своего геометрического положения и устанавливает требования к сбору высокоточными геодезическими методами данных геодезических измерений, позволяющих количественно оценивать параметры деформаций.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения организациями – членами саморегулируемой организации Ассоциации «Объединение организаций, выполняющих инженерные изыскания при архитектурно-строительном проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов атомной отрасли «СОЮЗАТОМГЕО» (СРО «СОЮЗАТОМГЕО»).

1.3 Настоящий стандарт может быть использован для применения:

- на объектах с промышленными и исследовательскими ядерными реакторами, критическими и подкритическими ядерными стендами;
- объектах с ядерным топливом и материалами, в том числе с установками для их производства, использования и переработки;
- объектах стационарных радиационных источников с генерируемым ионизирующим излучением или изделиями, содержащими радиоактивные вещества;
- стационарных объектах и сооружениях, предназначенных для хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов;
- объектах, отнесенных [1] (часть I, статья 48.1) к особо опасным и технически сложным объектам.

**2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте приведены ссылки на следующие документы:

ГОСТ 8.417 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры

ГОСТ 10528 Нивелиры. Общие технические условия

ГОСТ 10529 Теодолиты. Общие технические условия

ГОСТ 15467 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 21830 Приборы геодезические. Термины и определения

ГОСТ 22268 Геодезия. Термины и определения

ГОСТ 24846–2019 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений

ГОСТ 28622–2012 Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости

ГОСТ Р 8.565 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение атомных станций. Основные положения

ГОСТ Р 8.1015 Метрологическая экспертиза нормативной и технической документации в области использования атомной энергии

ГОСТ Р 21.001 Система проектной документации для строительства. Общие положения

ГОСТ Р 53607 Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. Основные положения

ГОСТ Р 55024–2012 Сети геодезические. Классификация. Общие технические требования

ГОСТ Р 58939 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления

ГОСТ Р 58943–2020 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности

ГОСТ Р 58946 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Статистический анализ точности

ГОСТ Р ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО/ТО 10017–2005 Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001

ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10032 Эталонная модель управления данными

СП 11-104 Инженерно-геодезические изыскания для строительства

СП 11-110–99 Авторский надзор за строительством зданий и сооружений

СП 13-102 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и

сооружений

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07–85 Нагрузки и воздействия»

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01–83 Основания зданий и сооружений»

СП 48.13330 «СНиП 12-01–2004 Организация строительства»

СП 70.13330 «СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции»

СП 126.13330.2017 «СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве»

СП 305.1325800 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве

СП 317.1325800 Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

**Примечание** – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Сведения о действии сводов правил могут быть проверены в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 21830, ГОСТ 22268, ГОСТ Р ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями:

#### 3.1

**барражный эффект:** Эффект, возникающий вследствие полного или частичного перекрытия водоносного горизонта подземным сооружением или его частью, проявляется в подъеме уровня подземных вод перед преградой фильтрационному потоку и его снижению за



ней.

[СП 22.13330, пункт 3.3]

**3.2 визуально-аналитический способ контроля:** Контроль, осуществляемый при помощи построения соответствующих графиков, характеризующих протекание процесса во времени или взаимное положение контролируемых точек при условии того, что имеются заранее известные данные о протекании процесса во времени или взаимосвязи положения контролируемых точек.

**3.3 временной ряд:** Собранный в разные моменты времени статистический материал о значении параметров исследуемого процесса.

**3.4 высокоточное нивелирование:** Нивелирование со средней квадратической погрешностью измерения превышения на 1 км двойного хода равной 0,3 мм

3.5

**геодезический мониторинг:** Получение необходимой информации о планово-высотных смещениях наблюдаемого объекта капитального строительства для проведения оценки, анализа и прогноза развития деформаций объекта.

[СП 126.13330.2017, пункт 3.11]

**3.6 геодинамическая активность:** Совокупность эндогенных и экзогенных движений земной поверхности, количественно характеризующихся скоростями вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности, определяемых геодезическими методами.

**3.7 геометрический центр деформационной геодезической сети:** Условная аналитическая точка, определяемая как среднее арифметическое из координат деформационных марок анализируемой сети.

**3.8 деформационная геодезическая сеть:** Совокупность точек, закрепленных марками или знаками на контролируемых зданиях, сооружениях, конструкциях и оборудовании с целью контроля их деформаций, положение которых определено в единой системе координат.

**3.9 деформационный знак:** Геодезический знак, устанавливаемый для наблюдений за смещениями зданий, сооружений, земной поверхности и толщи горных пород.

3.10

**деформация:** Изменения положения грунтов или конструкций, определяемые по вертикальным и горизонтальным перемещениям в сравнении с первоначальным положением.

[ГОСТ 24846–2019, пункт 3.8]

**3.11 достаточность опорной и деформационной геодезической сети:** Обоснованное предрасчетом точности количество, место- и взаимоположение пунктов геодезической сети,

позволяющих выполнить достоверный расчет наблюдаемых параметров, включая оценку устойчивости и выбор исходного пункта.

**3.12 зонирование опорной сети:** Обоснованное деление территории на зоны с использованием оценок устойчивости территории и стабильности пунктов и реперов опорной сети.

**3.13 идентификация тренда:** Определение основных систематических компонент временного ряда наблюдаемого процесса.

**3.14 исходные или первичные данные для анализа:** Данные, включающие временные ряды линейных и угловых величин, полученных после уравнивания геодезических измерений опорной и/или деформационной сети.

**3.15 исходная дата для расчета:** Цикл измерений, относительно которого производятся все дальнейшие вычисления по всей совокупности деформационных знаков объектов наблюдения.

**3.16 конфигурация сети деформационных (осадочных) марок:** Система размещения сети деформационных (осадочных) марок, основным требованием которой является достаточность для определения и расчета наблюдаемого параметра деформации.

**3.17 крен:** Отклонение плоскости, определяющей положение объекта наблюдения, от первоначально заданной.

**3.18 конфигурация деформационной сети:** Место-, и взаиморасположение деформационной сети, обусловленное целями и задачами этой сети.

**3.19 локальная геодинамическая активность:** Медленные и быстрые движения поверхностных и приповерхностных слоев земной поверхности, вызванные совокупностью эндогенных и экзогенных причин на локальных территориях

**3.20 маяк:** Приспособление, устанавливаемое на трещине/шве/стыке для того, чтобы изменение параметров трещины (раскрытие, закрытие, сдвиг, удлинение) можно было определить визуально без применения дополнительных инструментов и приспособлений.

3.21

**морозное пучение:** Деформирование промерзающих влажных грунтов, приводящее к увеличению их объема вследствие кристаллизации поровой и мигрирующей воды с образованием кристаллов и линз льда.

[ГОСТ 28622, пункт 3.1]

**3.22 начальный цикл:** Цикл измерений, при котором были впервые определены координаты и/или высота знаков деформационной геодезической сети.

**3.23 нулевой цикл строительных работ:** Работы, проводимые до начала строительства,

а также на строительстве сооружений под зданием или сооружением, при этом знаки геодезического мониторинга не могут быть заложены.

**3.24 опорная сеть:** Сеть, определенным образом расположенных и постоянно закрепленных геодезических пунктов, взаимное положение которых определено в единой системе координат и высот, признанных стабильными в выделенной территориальной зоне, относительно которых определяются деформации объектов наблюдения.

3.25

**оседания:** Деформации земной поверхности, вызываемые подработкой, изменением гидрогеологических условий, карстово-суффозионными процессами и т. п.

[СП 22.13330, пункт 3.24]

**3.26 перезакладка геодезического центра или репера:** Восстановление геодезических знаков (центров, реперов, деформационных марок), после повреждения или, при полной утере или заложение нового знака с расчетом величины приращений координат и/или превышения относительно первоначального положения.

**3.27 плоскость вертикальных смещений:** Плоскость, построенная не менее чем по трем вертикальным смещениям деформационных знаков, расположенных не на одной прямой, путем аппроксимации с использованием метода наименьших квадратов к плоскости в координатной форме.

**3.28 поверхность вертикальных смещений:** Гладкая поверхность, образованная совокупностью вертикальных смещений деформационных марок, расположенных не на одной прямой, и отображаемая с помощью изолиний на плоскости с сечением, заданным в зависимости от диапазона вертикальных смещений.

**Примечание** – Простая поверхность называется гладкой в точке, если в этой точке существует касательная плоскость к поверхности и некоторая окрестность точки на поверхности однозначно проектируется на плоскость.

3.29

**подъемы и осадки:** Вертикальные составляющие деформаций основания, связанные с изменением объема грунтов при изменении их влажности или воздействием химических веществ (набухание и усадка) и при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта.

[СП 22.13330, пункт 3.29]

**3.30 разложение на сингулярные (одиночные) спектры:** Декомпозиция временного ряда (вещественной матрицы) с целью ее приведения к каноническому виду.

**Примечание** – Сингулярное разложение геометрическую структуру временного ряда (матрицы) и позволяет наглядно представить имеющиеся данные.

**3.31 расчетное (проектное) значение деформации:** Значение, рассчитанное на основе расчетно-экспериментальных методов или математических моделей значение деформации строительных конструкций, зданий или сооружений, используемое в процессе проектирования.

**3.32 сингулярный спектральный анализ (SSA):** Метод анализа временного ряда, при котором, временной ряд раскладывается на спектр волновых составляющих, используя метод главных компонент, представляется в виде суммы трендовой, нескольких волновых и шумовой составляющих и используется для прогноза вероятного значения ряда на глубину до  $\frac{1}{4}$  длины временного ряда.

**3.33 стабильность (репера или планового пункта):** Способность репера или планового пункта сохранять или изменять в допустимых пределах свои параметры (свойства) при неизменных инженерно-геологических условиях в пределах ограниченной территории.

**3.34 устойчивость репера или планового пункта:** Способность репера и/или планового пункта сохранять или изменять свое положение в пространстве и во времени при изменяющихся инженерно-геологических условиях.

## 4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АС – атомная станция;

БД – база данных;

ГДП – геодинамический полигон

ПГМ – программа (проект) геодезического мониторинга;

СВДЗП – современные вертикальные движения земной поверхности

СДЗП – современные движения земной поверхности

СКП – средняя квадратическая погрешность;

СУБД – система управления базой данных;

ТЗ – техническое задание.

SSA – сингулярный спектральный анализ (Singular spectrum analysis).

## 5 Общие положения

5.1 Геодезическому мониторингу подлежат объекты наблюдения, установленные в ПГМ.

5.2 Геодезический мониторинг объектов наблюдения должен проводиться в течение всего периода их строительства и эксплуатации, включая периоды приостановки (консервации) строительных работ и реконструкции, вывода из эксплуатации (закрытия).

5.3 Основной целью геодезического мониторинга является обоснование непревышения

проектных пределов параметров деформаций, в т.ч. осадок и кренов объектов наблюдения в соответствии с требованиями [2] (пункт 3.7), включая:

- в период строительства – контроль предпроектных изысканий, проектных решений и строительства;

- в период эксплуатации – контроль влияния технологического процесса на устойчивость объектов наблюдения.

5.4 Перечень объектов и периодичность проведения циклов геодезического мониторинга объектов наблюдения устанавливаются в зависимости:

- от классов безопасности элементов объекта наблюдения (1, 2, 3 и 4) согласно [3];

- категорий зданий и сооружений по условиям их ответственности за радиационную и ядерную безопасность (I, II или III) согласно [4];

- категории сейсмостойкости (I, II или III) согласно [5], устанавливающих требования к обеспечению безопасности АС с реакторами всех типов при сейсмических воздействиях.

5.5 К объектам наблюдения, в которых располагаются элементы нормальной эксплуатации АС, не влияющие на безопасность и относящиеся к 4 классу безопасности согласно [3], требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии не применяют.

5.6 Перечень объектов наблюдения, подлежащих геодезическому мониторингу, устанавливается в ПГМ согласно [4] и может быть изменен в соответствии с процедурой изменения ПГМ.

Примерный перечень объектов наблюдения, подлежащих геодезическому мониторингу, приведен в приложении А.

5.7 Периодичность проведения геодезических наблюдений устанавливается (корректируется) в ПГМ, исходя из уровня ответственности объектов наблюдений (повышенной, нормальной, пониженной) в соответствии с [4].

5.8 В соответствии с [4] (Приложение № 5, пункт 3) начальный цикл геодезического мониторинга деформаций грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений должен быть произведён после завершения возведения фундамента до начала возведения последующих строительных конструкций здания и сооружения с целью не упустить начальный период осадки.

Если установка деформационных марок выполняется фрагментарно во времени (в ходе строительства), то датой начала наблюдений принимается исходная для расчетов дата цикла, позволяющего рассчитать параметры деформаций.

5.9 Результаты геодезических измерений (геодезические данные) должны быть преобразованы к виду, сопоставимому по форме и размерности контролируемых параметров деформаций и учитывать требования к допустимым погрешностям определения вертикальных и

горизонтальных смещений по ГОСТ 24846.

5.10 Требования к форме, перечню и погрешности определения контролируемых параметров деформации объектов наблюдения устанавливаются в ТЗ и согласовываются с генеральным проектировщиком.

Перечни контролируемых параметров геодезических наблюдений, их критериальные значения (предельно допустимые нормативные или расчетные проектные) и периодичность проведения геодезических наблюдений устанавливаются в ПГМ.

В приложении Б приведены расчетные формулы и формулы оценки погрешности контролируемых параметров.

5.11 В процессе строительства и эксплуатации объекта наблюдения форма, перечень и погрешность определения контролируемых параметров деформации может корректироваться с учетом требований ГОСТ 24846.

## **6 Организация геодезического мониторинга**

### **6.1 Общие сведения**

6.1.1 Геодезический мониторинг объектов наблюдения включает оценки деформаций территории размещения объектов [2], зданий и сооружений, фундаментов и строительных конструкций по ГОСТ 24846, СП 22.13330, [4].

6.1.2 Различают следующие виды геодезического мониторинга:

- в процессе строительства – строительный контроль проектных решений и геодезический контроль свойств грунтов оснований фундаментов объектов наблюдения в соответствии требованиями ГОСТ 24846, СП 22.13330, СП 305.1325800, СП 317.1325800;

- в период эксплуатации – контроль условий эксплуатации объектов наблюдения и территории их размещения, включая требования правил [6].

6.1.3 ПГМ на процесс строительства должна учитывать изменение условий измерений, включая потерю геодезических знаков и изменение методики за счет изменяющихся условий строительства.

6.1.4 На период эксплуатации объекта наблюдения ПГМ должна быть актуализирована и включать обоснованные автоматизированные средства геодезического контроля деформаций в соответствии с 8.6.

**Примечание** – При актуализации ПГМ должен быть выполнен предрасчет точности измерений; проведено обоснование цикличности измерений и сделан расчет объемов геодезического мониторинга как в строительный и постстроительный периоды (до стабилизации строительной осадки грунтов оснований фундаментов во времени), так и в эксплуатационный период.

6.1.5 При организации и проведении геодезического мониторинга должны быть организованы:

- получение ТЗ и разработка на его основе ПГМ (см. подразделы 6.2 и 6.3);
- изготовление и установка деформационной и опорной сетей геодезического мониторинга (см. раздел 7);
- проведение дискретных (при необходимости – непрерывных) циклов геодезического мониторинга, включая регистрацию, хранение и первичную обработку результатов полевых измерений; метрологическое обеспечение геодезических измерений (раздел 8);
- проведение анализа (раздел 9) и представление (раздел 10) данных геодезического мониторинга в отчетных формах, а также контроль выполненных работ.

6.1.6 Для проведения геодезического мониторинга должно быть предусмотрено использование электронной БД и соответствующей ей СУБД.

6.1.7 Все используемые при обработке данные геодезического мониторинга алгоритмы должны соответствовать нормативным требованиям, отражены в ПГМ, а программные средства сертифицированы.

## **6.2 Техническое задание**

6.2.1 ТЗ на подготовку ПГМ согласовывается генеральным проектировщиком, утверждается застройщиком или техническим заказчиком (строительная, эксплуатирующая организация). Ответственность за полноту и достоверность данных ТЗ несут генеральный проектировщик и технический заказчик.

6.2.2 ТЗ на подготовку ПГМ должно содержать следующие сведения и данные:

- общие сведения: наименование, назначение и уровень ответственности объектов наблюдения, а также сведения о степени опасности площадки согласно [2], [4]; сведения об этапе (графике) строительных работ и сроке эксплуатации объекта наблюдения (при необходимости);
- конструктивные особенности объекта наблюдения, характеристики фундамента, несущих и ограждающих строительных конструкций. Перечень контролируемых параметров деформаций объектов наблюдений и требования к точности их определения;
- сведения о материалах с результатами ранее проводимых наблюдений за осадками и деформациями объектов наблюдения или геодезического мониторинга (при наличии);
- перечень нормативных правовых актов, конструкторской, проектной и иной технической документации, документов по стандартизации, определяющих требования к геодезическому мониторингу;
- требования к результатам работ (состав, сроки, виды отчетной документации, порядок и форма ее представления);
- дополнительные данные: специфические условия и режим эксплуатации объекта

мониторинга; перечень ответственных представителей заказчика, уполномоченных решать организационные и технические вопросы по проведению геодезического мониторинга.

6.2.3 В приложение к ТЗ рекомендуется включать:

- топографические данные: генеральный план, строительный генеральный план, проект вертикальной планировки объекта наблюдения (при необходимости), топографический план на комплекс сооружений или отдельный объект наблюдения;

- строительные данные: комплект строительных чертежей на подлежащие контролю фундаменты и строительные конструкции объектов наблюдения;

- геодезические данные, включая:

а) схемы размещения существующей контрольно-измерительной аппаратуры для геодезических наблюдений по каждому сооружению; схемы расположения существующих центров и пунктов опорных геодезических сетей и существующих знаков деформационных сетей;

б) каталог координат и высот пунктов и реперов государственной геодезической сети, используемых геодезической службой эксплуатируемого объекта или генеральным подрядчиком строительства (при необходимости);

в) каталоги координат и высот пунктов и реперов, существующих опорных и деформационных сетей; ведомости абсолютных деформаций марок деформационной сети за предшествующий период наблюдений; информационные материалы с результатами анализа и прогнозированием деформаций (при наличии);

г) результаты исполнительных съемок наблюдаемых конструкций, выполненных при вводе объекта в эксплуатацию или последних, произведенных на этапе эксплуатации объекта наблюдения (при необходимости).

6.2.4 В ТЗ на подготовку ПГМ не допускается устанавливать объемы, способы и методики выполнения работ; их определяет и обосновывает исполнитель в ПГМ.

6.2.5 Генеральный проектировщик передает разработчику ПГМ результаты проектных расчетов с величинами проектных (или расчетных) и предельно допустимых изменений геометрических параметров объектов наблюдения или их смещений, относительно положения, заданных проектной документацией.

### **6.3 Программа геодезического мониторинга**

6.3.1 ПГМ является основным и обязательным организационным и методическим документом при выполнении геодезического мониторинга.

6.3.2 ПГМ разрабатывается в соответствии с требованиями настоящего СТО, документов по стандартизации, ТЗ, проектной и другой технической документацией для данного вида работ.



ПГМ может разрабатываться отдельно или входить в состав проекта производства геодезических работ, разрабатываемого для объекта строительства (реконструкции).

### **6.3.3 Состав разделов рекомендуемого перечня ПГМ**

6.3.3.1 «Введение». В разделе приводятся основные цели и задачи, а также сведения о имеющихся действующих лицензиях и сертификатах разработчика ПГМ.

6.3.3.2 «Общая характеристика объекта». В разделе приводятся:

- природно-техногенные характеристики, в том числе административные и географические характеристики; климатические условия; краткие геологические и гидрогеологические свойства территории;

Примечание – Объем этого раздела должен определяться необходимой информацией, используемой при разработке проекта и технико-экономических расчетов;

- общие инженерно-технические сведения, включая данные топографо-геодезического обеспечения и ранее выполненных повторных наблюдений; характеристики площадки, в том числе схемы размещения объектов мониторинга и рядом размещенных объектов.

6.3.3.3 «Проект геодезического мониторинга». В разделе приводятся по каждому наблюдаемому объекту отдельно:

- исходные данные для проектирования, в том числе категории безопасности сооружения; краткие характеристики объекта, включая чертежи фундаментов; наблюдаемые параметры и их расчетные и/или предельные величины;

- проект и разработка методики геодезических измерений деформационной сети, включая схему и конструкции знаков деформационной сети; обоснование, методику и предрасчет точности повторных геодезических измерений; сведения о цикличности измерений по деформационной сети;

- проект и разработка методики геодезических измерений опорной сети, включая схему и конструкции геодезических пунктов и центров; обоснование, методику и предрасчет точности повторных геодезических измерений; сведения о цикличности измерений опорной сети.

6.3.3.4 «Требования к хранению результатов полевых измерений и базам данных». Раздел содержит требования к процедуре регистрации данных полевых измерений и результатов их предварительной обработки; способы и ответственность за хранение данных геодезического мониторинга; особенности организации БД геодезического мониторинга.

6.3.3.5 «Обработка данных повторных измерений». Раздел содержит:

- правила обработки результатов полевых измерений, выполняемых после каждого цикла измерений, в том числе процессы предварительной обработки; оценки качества геодезических измерений и устойчивости пунктов опорной сети; расчета параметров перезакладки; способы и последовательность уравнивания опорной и деформационной сетей;

- правила анализа повторных измерений, в том числе оценки достаточности опорной и деформационной сети, процесс расчета контролируемых параметров деформации; процесс анализа и прогноза контролируемых параметров.

6.3.3.6 «Представление результатов мониторинга». В разделе содержатся требования к отчетной информации, текстовым, табличным и графическим форматам.

6.3.3.7 «Организационные требования». В раздел включают требования:

- к метрологическому обеспечению геодезического мониторинга (требования к метрологическим освидетельствованиям);

- порядку контроля (при необходимости – приемки) выполненных работ;

- охране труда, где приводятся основные требования по безопасному проведению работ исходя из их специфики и направленные на сохранение жизни и здоровья персонала организации, обеспечение безопасных условий труда;

- объемам работ; спецификации в виде ведомости объемов работ; спецификации на рекомендуемое ПГМ оборудование, материалы и изделия и содержащие данные, необходимые для ориентировочного расчета стоимости геодезических и других работ, а также стоимости материалов и изделий, необходимых для закладки и изготовления деформационных геодезических знаков и марок.

6.3.4 Приложением к ПГМ являются копия ТЗ; схемы запроектированных геодезических сетей; предварительные каталоги координат пунктов; эскизы или чертежи геодезических центров, деформационных знаков, марок, установочного оборудования; исходные требования на проведение буровых или иных вспомогательных работ, а также рекомендуемые образцы оформления результатов наблюдений деформаций.

6.3.5 ПГМ должна быть утверждена генеральным проектировщиком, а в процессе эксплуатации объекта – заказчиком работ по геодезическому мониторингу или его уполномоченным представителем.

6.3.6 Изыскательская организация в процессе производства инженерных изысканий по согласованию с заказчиком и генеральным проектировщиком может вносить в ПГМ необходимые изменения и дополнения [СП 151.13330.2012 (часть.1, раздел 4)].

6.3.7 Изменения в ПГМ и в договор (контракт) могут быть внесены в случае выявления в процессе инженерных изысканий сложных природных и техногенных условий, которые могут оказать неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию объекта [СП 151.13330.2012 (часть.1, раздел 4)].

#### **6.4 Метрологическое обеспечение геодезического мониторинга**

6.4.1 Метрологическое обеспечение геодезического мониторинга осуществляется на основании [7], [8].

6.4.2 Организация в соответствии с ГОСТ Р 8.565, должна обеспечить периодическую поверку (калибровку) средств измерений; аттестацию методик (методов) измерений; замену средств измерений, выработавших свой ресурс; не соответствующие требованиям ПГМ средства измерений, а также применение в ПГМ величин Международной системы единиц согласно ГОСТ 8.417.

6.4.3 Метрологическая экспертиза технической документации выполняется в соответствии с требованиями [9] и ГОСТ Р 8.1015.

## **7 Сети геодезического мониторинга**

### **7.1 Классификация и назначение сети геодезического мониторинга**

7.1.1 Сети геодезического мониторинга, в соответствии с ГОСТ Р 55024–2012 (пункт 4.1) являются локальными высокоточными сетями специального назначения и классифицируются на опорные сети и съемочные сети геодезического мониторинга (деформационные сети) и делятся (по виду получаемой информации) на пространственные, плановые, высотные, планово-высотные.

7.1.2 В соответствии с ГОСТ Р 55024–2012 (пункт 4.3) геодезические сети специального назначения подразделяют на виды в зависимости технических задач, включая сети геодезического мониторинга (деформационные сети) и/или геодинамические сети.

*Примечание* – В практике строительства и эксплуатации АС сети специального назначения могут быть совмещены со строительными сетями или дорожными сетями, если закладываемые и используемые геодезические знаки позволяют получать необходимую информацию соответствующей точности.

7.1.3 Опорные сети геодезического мониторинга закрепляются геодезическими пунктами (центрами и реперами по ГОСТ 22268) на территориях строй и/или промплощадок размещения АС, позволяющих отслеживать их плановые, высотные или пространственные смещения территории.

7.1.4 Съемочные или деформационные сети (по назначению) закрепляются на строительных конструкциях и/или технологическом оборудовании АС в виде специальных устройств – деформационных марок.

*Примечание* – Тип, вид и конструкция деформационных марок определяются в зависимости от свойств строительных конструкций и технологического оборудования, используемого метода геодезических измерений и этапа жизненного цикла АС (строительства, эксплуатация).

### **7.2 Геодезические пункты сетей геодезического мониторинга**

#### **7.2.1 Геодезические пункты опорной сети (центры и реперы)**

7.2.1.1 Геодезические пункты опорной сети геодезического мониторинга включают в себя

центры и реперы. В соответствии с ГОСТ 22268 центры являются носителями координат геодезического пункта, а реперы – геодезические знаки, являющиеся носителями высот.

#### Примечания

1 Геодезическому пункту может быть присвоено название, характеризующее метод определения его положения, например, пункт триангуляции или пункт полигонометрии

2 В собственном названии репера может быть отражено место закладки (например, грунтовый или глубинный репер) и особенности закладки (например, фундаментальный репер)

7.2.1.2 Конструкции центров и реперов выбирают в зависимости от точности измерений и грунтовых условий по ГОСТ 24846–2019 (подраздел 5.1) вне зоны влияния строительных и эксплуатационных процессов.

#### Примечания

1 Жесткость и прочность конструкции наземного планового знака должна обеспечивать возможность измерений при ветре до 5 м/сек.

2 Спутниковые плановые знаки должны быть снабжены приспособлением для принудительного центрирования, предохраняющимся от осадков и внешнего механического воздействия защитной трубой с антивандальной крышкой и замковым устройством.

3 Глубинные и грунтовые реперы (вековые и фундаментальные) должны быть изолированы от воздействий морозного пучения. Должна быть обеспечена полная изоляция якорной штанги от обсадной трубы.

7.2.1.3 Стенные знаки (реперы, марки) могут быть использованы в качестве плановых опорных пунктов или ориентирных пунктов по ГОСТ 22268 если сооружение, в котором закреплены стенные реперы, марки, не изменяет своего положения относительно опорной плановой сети, закрепленной на территории площадки АС.

Стенные реперы (марки) использовать в качестве знаков опорной высотной сети запрещается из-за влияния природно-техногенных смещений на здания или сооружения, где закреплен стенной репер (марка). При этом сам стенной репер (марка) считаются деформационной маркой.

7.2.1.4 Закладка центров и реперов должна осуществляться специализированной организацией, по окончании закладки должен быть составлен абрис и осуществлена линейная привязка заложенного центра или репера не менее, чем к 3-м характерным точкам постоянных объектов местности.

7.2.1.5 Заложенные реперы и центры должны быть сданы на сохранность заказчику геодезического мониторинга или его уполномоченному представителю по акту.

Приложениями к акту являются:

- плановая схема расположения реперов или центров, абрис, фотография и описание места

закладки. Для стенных знаков – привязка к элементам зданий или сооружений, фотография фасада с указанием местоположения и присвоенного номера;

- эскиз конструкции знака;

- инженерно-геологический разрез в месте заложения глубинных знаков и грунтовых знаков с указанием расположения линии глубины промерзания (оттаивания) грунта.

7.2.1.6 При необходимости на заложенные центры и реперы передаются плановые и высотные координаты от ближайших пунктов государственной геодезической сети или пунктов местной геодезической сети объектов наблюдения. Методика передачи обосновывается в ПГМ.

7.2.1.7 Включение в геодезические измерения осуществляют:

- скальные и стенные знаки – через трое суток после их закладки;

- грунтовые реперы – не ранее 15 дней после закладки;

- глубинные реперы – от 2-х до 3-х месяцев (в зависимости от грунтовых условий) после их закладки.

В районах севера и северо-востока Российской Федерации закладка реперов выполняется за год до нивелирования.

7.2.1.8 При использовании плановых и/или высотных центров с жесткой и гибкой консолями их прочность, жесткость и устойчивость должна быть подтверждена специальным расчетом.

## **7.2.2 Деформационные марки**

7.2.2.1 При закладке деформационных марок необходимо руководствоваться ГОСТ 24846–2019 (подпункт 5.1.9). При этом, марки должны обеспечивать жесткое крепление, наведение и/или установку рейки и сохранность внутри помещений и на внешней стороне зданий и сооружений, включая:

- а) стенные (в том числе с учетом вентилируемых фасадов) и плитные марки; шкаловые и кодовые деформационные марки;

- б) призмные отражатели на 360°; пленочные световозвращающие марки;

- в) замаркированные детали конструкций и технологического оборудования.

7.2.2.2 Все материалы, подверженные коррозии, применяемые для изготовления деформационных марок, независимо от их типов должны иметь антикоррозионную защиту. В местах подверженных механическим повреждениям плитные (напольные) марки должны быть закрыты крышками.

7.2.2.3 При установке шкаловых или кодовых высотных деформационных марок необходимо обеспечить точность установки вертикальной оси симметрии марки не менее 5 угловых минут. Отклонения интервалов кодовых и шкаловых высотных деформационных марок от номинального значения должны быть не более 0,1 мм.

7.2.2.4 Каждой деформационной марке присваивается номер. Рекомендуется присваиваемой нумерации учитывать номер здания в составе объекта и номер марки на чертеже здания.

7.2.2.5 После установки высотной деформационной марки определяются ее координаты с СКП не более 10 см в строительной системе координат данного здания или сооружения.

7.2.2.6 Закладку деформационных марок осуществляют специализированная организация при обязательном участии специалистов, наблюдающих за деформациями данного объекта, или организация, выполняющая геодезический мониторинг объекта.

7.2.2.7 Заложенные деформационные марки должны быть сданы на сохранность заказчику геодезического мониторинга или его уполномоченному представителю по акту.

**Примечание** – Приложениями к акту являются плановая схема расположения марок; эскиз конструкции марки; привязка к элементам зданий или сооружений.

7.2.2.8 При уничтожении деформационных марок составляется акт об уничтожении и устанавливается новая марка в радиусе не более 3 м от уничтоженной; новой марке присваивают тот же номер с добавлением литеры «Н».

7.2.2.9 При отсутствии доступа к маркам на монтажном горизонте выполняется установка новых марок на смежном монтажном горизонте, с одновременным определением координат и высотных отметок закрываемых и вновь заложенных марок. Полученная в цикле измерений величина смещения закрываемой марки присваивается вновь заложенной марке, расположенной с закрываемой маркой на одной вертикали.

7.2.2.10 При невозможности выноса деформационной марки на одну вертикаль с закрываемой маркой, значение перемещения марки определяют интерполированием от смежных марок монтажного горизонта.

7.2.2.11 Рекомендуется закладывать стенные марки на отметке от 0,4 до 0,8 м считая от уровня отмотки (для наружных марок) и уровня полов (для марок, установленных внутри помещений).

### **7.2.3 Поверхностные и глубинные марки земляных сооружений**

7.2.3.1 Поверхностные марки для определения деформаций земляных сооружений закладываются в буровые скважины или шурфы на глубину не менее 50 см ниже границы промерзания грунта. Марки должны иметь защищенную трубой стержневую конструкцию с основанием в виде плиты или опорного фланца с косынками жесткости.

7.2.3.2 Расположение поверхностных и глубинных марок должно соответствовать поставленной задаче и характеру смещения поверхности, должно быть удобным для производства наблюдений и интерпретации их результатов.

7.2.3.3 При выборе конструкций марок для определения деформаций земляных сооружений, разработке схемы расположения и закладке рекомендуется использовать ГОСТ 24846–2019 (пункт 5.1.9).

#### **7.2.4 Выбор ориентирных пунктов опорной плановой (планово-высотной) сети геодезического мониторинга**

7.2.4.1 К ориентирным пунктам опорной плановой (планово-высотной) сети относятся точки, закрепляющие на направление с геодезического пункта.

7.2.4.2 Если точки (срезы, шпильки, риски, маркированные углы) координированы, неприступны для измерений и используются для определения координат неизвестных пунктов обратной засечкой, то такие пункты могут приняты в качестве точек опорной сети.

7.2.4.3 В практике геодезического мониторинга ориентирные пункты могут быть использованы в створных измерениях, при оценке горизонтальных сдвижений сооружений, при наблюдениях за кренами сооружений башенного типа (вентиляционные, дымовые трубы, газгольдеры) для определения направления крена, при ориентировании пунктов лазерного сканирования.

### **7.3 Проектирование сетей геодезического мониторинга**

#### **7.3.1 Общие требования**

7.3.1.1 Проектирование сетей геодезического мониторинга выполняется исходя из принципа достаточности количества деформационных марок и места и их размещения для определения параметров деформаций с заданной точностью.

7.3.1.2 Для нового строительства проектирование начинают с размещения деформационных марок и после предрасчета точности определения смещения в удаленной точке проектируют размещение опорных знаков.

7.3.1.3 При реконструкции сооружений или в условиях окружающей застройки, расположенной в зоне влияния нового строительства, опорная сеть принимается существующей, если удовлетворяет принципу достаточности.

7.3.1.4 Критерием к определению достаточности сети геодезического мониторинга является допустимая погрешность ( $M_u$ ) предельного и/или проектного параметров деформации ( $u_t$ ) для наблюдаемого объекта на заданный момент времени ( $t$ ), сравниваемая с погрешностью параметра деформации ( $M_m$ ) полученного при геодезических измерениях соответствующего класса точности  $M_u \geq M_m$ .

7.3.1.5 Назначение класса точности проведения геодезических измерений определено в ГОСТ 24846 и приведено в таблице 7.3.1, где под допустимой погрешностью измерения смещений понимается погрешность определения смещения в удаленной точке.

Таблица 7.3.1 – Класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений

Класс точности измерений	Допустимая погрешность измерения смещений, мм	
	вертикальных	горизонтальных
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

Примечание – Класс точности измерений вертикальных и горизонтальных перемещений допускается устанавливать:

I – для зданий и сооружений: исторической застройки, аварийных, технически сложных, длительное время (более 50 лет) находящихся в эксплуатации, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

II – в остальных случаях для зданий и сооружений;

III – для сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах;

IV – для земляных сооружений.

7.3.1.6 Для основных сооружений АС с I и II категорией безопасности устанавливается I класс точности измерений.

7.3.1.7 В ПГМ значение допустимой погрешности измерения вертикальных и горизонтальных смещений (таблица 7.3.1) используется в качестве СКП определения смещения удаленной точки при предрасчете точности измерений.

### 7.3.2 Размещение деформационных марок

7.3.2.1 Размещение и количество деформационных знаков должно позволять определять регламентируемые генеральным проектировщиком параметры деформаций.

Примечание – Если проект размещения деформационной сети не был представлен в рабочей документации в соответствии с ГОСТ Р 21.001, то сеть размещают исходя их характеристик наблюдаемых параметров деформаций, указанных в СП 22.13330.

7.3.2.2 Размещение и количество деформационных знаков зависит от типа фундамента основания и конструкции самого сооружения в соответствии с таблицей 7.3.2.



Таблица 7.3.2 – Основные характеристики фундаментов и контролируемые параметры деформаций

Характеристики фундаментов	Параметр деформации
Основания фундаментов сооружений, возводимых на отдельно стоящих фундаментах на естественном (искусственном) основании или на свайных фундаментах с отдельно стоящими ростверками (ленточные, столбчатые)	Предельная максимальная осадка $s_u^{max}$ Относительная разность осадки $(\Delta S/L)_u$
Основания фундаментов сооружений, возводимых на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты)	Средняя осадка $\bar{s}_u$ Относительный крен $i_u$
Для различных типов и видов сооружений при проявлении (по необходимости)	Абсолютный и относительный прогиб/выгиб
Примечание – Для комбинированных по конструкции сооружений применяются сочетания контролируемых параметров.	

7.3.2.3 При определении средней осадки и относительного крена фундаментов сооружений, возводимых на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (плите), деформационные марки рекомендуется размещать под условием центральной симметрии по периметру плиты с максимальным расстоянием между марками до 16 м и обязательной установкой марок на углах плиты.

7.3.2.4 Если фундамент сооружения комплексный (состоит из нескольких монолитных плит или составлен из различных типов фундаментов), то деформационная сеть размещается на каждый фундамент отдельно.

Примечание – Запрещается определение относительного крена монолитной фундаментной плиты по одной из ее сторон, если это не запроектировано генеральным проектировщиком.

7.3.2.5 При определении предельной максимальной осадки основания и относительной разности осадки для сооружений, деформационные марки должны быть установлены на сопряженных строительных конструкциях на каждой несущей опоре и/или колонне или через одну (по указанию генерального проектировщика).

7.3.2.6 После пристройки вновь возводимого здания к существующему, место примыкания рассматривают как осадочный шов и деформационные марки устанавливаются по обе его стороны. На существующем здании можно ограничиться установкой деформационных марок

на расстоянии до 1 м от места примыкания нового здания.

7.3.2.7 Размещение деформационных марок должно быть предусмотрено на фундаментах, строительных конструкциях и технологическом оборудовании (реакторных отделениях, турбинах, котлах, питательных насосах, трансформаторах и другом оборудовании, работа которого влияет на безопасность объектов наблюдения).

#### Примечания

1 Деформационные марки рекомендуется размещать симметрично центральной оси агрегатов, на поверхностях сопряжения ригелей (при наличии) и колонн агрегатов.

2 Если марки размещают в здании или сооружении на разных горизонтах, то для каждого горизонта составляется своя схема. На схемах показывают связи сетей разных ярусов.

7.3.2.8 Плановые деформационные марки для определения горизонтальных смещений объектов закладываются в цокольную часть здания, при отсутствии видимости – в стены здания. Марки размещают по периметру с шагом до 16 м, по углам, по обе стороны осадочных швов на расстояниях до 1 м.

7.3.2.9 Плано-высотные деформационные марки для определения кренов, прогибов/выгибов несущих конструкций рекомендуется устанавливать вертикальными рядами (не менее 3-х в ряд и более – в зависимости от количества перекрытий).

7.3.2.10 Если передача плановых координат или высотной отметки в некоторые помещения наблюдаемых объектов невозможна технологически, разрешается создание в данных помещениях локальной сети.

Примечание – Связь локальных сетей с сетью предыдущей ступени геодезического построения осуществляется минимум через две пары дублирующих марок. Каждая марка в паре должна быть установлена на одних и тех же конструкции и высоте; измерения на одну марку должны проводиться с привязкой к локальной сети, на другую – с привязкой к существующему геодезическому построению.

### 7.3.3 Обоснование конфигурации деформационной сети и предрасчет точности

7.3.3.1 Обоснованием принятой конфигурации деформационной сети, в том числе проложения ходов повторных измерений (при нивелировках, полигонометрии), должна служить предельная погрешность  $M_{\Delta \text{ пред.}}$  ожидаемого параметра деформаций  $\Delta$ :

$$M_{\Delta \text{ пред.}} = \frac{\Delta}{2t}, \quad (7.1)$$

где  $t$  – нормируемый множитель, принимаемый в зависимости от ответственности работ (2; 2,5; 3 с доверительной вероятностью соответственно 0,95; 0,98; 0,997).

Связь между предельной и СКП ( $m$ ) определяется из уравнения  $M_{\Delta \text{ пред.}} = 3m$ . Коэффициент 3 может быть определен при разработке методики в ПГМ или указан генеральным

проектировщиком.

7.3.3.2 Обоснование ходов повторного высокоточного нивелирования должно выполняться с использованием СКП определения вертикального смещения удаленной точки  $m_{\Delta h \text{ уд.точки}}$ :

а) в простейшем случае по формуле

$$m_{\Delta h \text{ уд.точки}} = \sqrt{m_{\Delta h \text{ замкн.}}^2 + m_{\Delta h \text{ прив.}}^2}, \quad (7.2)$$

где  $m_{\Delta h \text{ замкн.}}$  – СКП определения вертикального смещения удаленной точки замкнутого полигона;

$m_{\Delta h \text{ прив.}}$  – СКП определения вертикального смещения удаленной точки привязочного хода.

Каждый объект наблюдения должен быть привязан не менее чем к двум знакам опорной сети, при этом каждый из объектов наблюдения первоначально должен проектироваться в виде замкнутого полигона СКП определения превышения удаленной точки  $m_{h \text{ уд.точки замкн.полигона}}$ , который определяется по формуле

$$m_{h \text{ уд.точки замкн.полигона}} = m_{h \text{ шт.}} \sqrt{\frac{n}{4}}, \quad (7.3)$$

где  $m_{h \text{ шт.}}$  – СКП определения превышения на один штатив хода, мм;

$n$  – ориентировочное число штативов в замкнутом ходе.

б) в более сложных случаях – при привязке объекта наблюдения к двум и более реперам и наличием секущих диагональных ходов в замкнутом полигоне  $m_{\Delta h \text{ уд.точки}}$  рекомендуется рассчитывать с помощью метода эквивалентной замены или иным равным по точности методом.

7.3.3.3 Если  $m_{\Delta h \text{ уд.точки}}$  замкнутого полигона превышает значение  $M_{\Delta \text{ пред.}}$ , то для устранения этого недостатка:

- увеличивают жесткость сети – в замкнутом полигоне (полигонах) предусматривают диагональный ход (ходы);

- предусматривают дополнительную привязку к реперам опорной сети.

7.3.3.4 В процессе проектирования рекомендуется использовать ориентировочную разность между  $m = M_{\Delta \text{ пред.}}/3$ , полученную из уравнения (7.3) и  $m_{\Delta h \text{ замкн.}}$ , которая ориентировочно должна быть не менее 0,3 мм.

Если в процессе проектирования выясняется, что  $m$  более  $M_{\Delta \text{ пред.}}/3$  включительно, то должна предусматриваться дозакладка опорных пунктов.

## 7.4 Проектирование опорных сетей

### 7.4.1 Общие требования

7.4.1.1 При геодезическом мониторинге должна быть создана многофункциональная опорная геодезическая сеть, предназначенная для решения задач, включающих:

- контроль геодинамической активности территории строительной площадки, промышленной площадки, включая оценки современного движения земной поверхности в соответствии с требованиями [2] (пункт 6.2);

- расчет средней осадки фундаментов объектов наблюдения.

7.4.1.2 Согласно СП 126.13330 в период строительства и в отдельных случаях при эксплуатации опорные сети предусматривают внутреннюю (в пределах влияния строительства) и внешнюю (относительно которой определяются смещения внутренней сети) опорную сеть.

7.4.1.3 При наличии геодинамических полигонов опорные геодезические сети должны быть включены в состав измеряемых знаков геодинамических полигонов.

### 7.4.2 Общая конфигурация опорной высотной сети

7.4.2.1 Конфигурация опорной сети, конструкции знаков и схема их расположения зависят от площади и конфигурации территории строительной площадки или промышленной площадки и их инженерно-геологических условий, от количества и уровня ответственности сооружений, поэтому проектирование должно осуществляться с использованием генерального плана и/или строительного генерального плана и изыскательских материалов.

7.4.2.2 Проектирование опорной высотной сети осуществляется в зависимости от поставленных задач, инженерно-геодезических условий и условий строительства (таблица 7.4.1).

Т а б л и ц а 7.4.1 – Проектирование и конструкции опорной высотной сети

Конструкция опорной сети	Условия
Сеть грунтовых реперов, закладываемых ниже глубины сезонного промерзания.	В пределах площадки однородные инженерно-геологические условия.
При выходах скальных пород на дневную поверхность – скальные реперы и марки.	
Сеть грунтовых реперов с закладкой глубинных реперов (в узловых точках нивелирной сети) с глубиной заложения в условно недеформируемые грунты (не более 50 МПа)	Устройство котлованов, грунтозамещение. Различные конструкции и глубина заложения фундаментов зданий и сооружений.

## Окончание таблицы 7.4.1

Конструкция опорной сети	Условия
Сеть грунтовых реперов с кустами глубинных реперов, закладываемыми в первый водоупорный горизонт и в условно недеформируемые грунты (более 50 МПа)	Устройство котлованов, грунтозамещение. Различные конструкции и глубина заложения фундаментов зданий и сооружений Обводненные грунты. Напорные грунтовые воды
Примечание – Проектирование кустов глубинных и грунтовых реперов предусматривается для территорий, расположенных в различных геоморфологических структурах со значительными изменениями инженерно-геологических характеристик и обладающих различной геодинамической активностью.	

7.4.2.3 В процессе проектирования опорная высотная сеть должна быть функционально разделена на внутреннюю и внешнюю сети. Здесь внешняя опорная сеть необходима для контроля динамики грунтов площадки размещения зданий и сооружений по смещениям внутренней опорной сети под влиянием строительства в соответствии с СП 126.13330.2017 и/или влияния техногенных воздействий в период эксплуатации.

Примечание – Опорная высотная сеть в виде только внутренней сети, состоящей только из грунтовых (скальных) реперов, может быть запроектирована для небольших компактных площадок размещения зданий и сооружений с однородными инженерно-геологическими условиями, с приблизительно равными по назначению, конструкциям и глубине заложения фундаментов, с необводненными грунтами.

### 7.4.3 Размещение знаков внутренней опорной высотной сети

7.4.3.1 Проектирование реперов опорной высотной сети должно выполняться исходя из значения СКП смещения удаленной точки контролируемого объекта с учетом привязки этого объекта не менее чем к двум опорным знакам.

7.4.3.2 Нивелирные ходы по реперам проектируются в виде замкнутого полигона или их систем. Нивелирные ходы по реперам, размещенные в виде «висячего» хода, не допускаются.

7.4.3.3 Необходимое количество реперов для оценки стабильности их положения должно быть не менее 3.

7.4.3.4 Минимальное расстояние от наблюдаемого объекта до опорного знака (Рп) определяется зоной влияния (мульды) осадки/просадки от строящегося или эксплуатируемого здания.

Примечание – Ориентировочное расстояние зоны влияния (мульды) осадки/просадки

принимается равным двойной глубине  $2Z_{\text{фунд}}$  заложения фундамента. Для высотных, технически сложных, комплексных сооружений принимается расстояние равное  $3Z_{\text{фунд}}$ , м.

7.4.3.5 В период строительства допускается использование в качестве опорных знаков пунктов полигонометрии и пунктов опорной сети, если они заложены ниже глубины сезонного промерзания и снабжены защищенной реперной головкой.

#### Примечания

1 Использование в качестве опорных знаков пунктов полигонометрии и пунктов опорной сетки не заменяет проектирования, размещения, закладки и применения реперов из-за требований к их устойчивости.

2 Если длина линии повторного нивелирования более 1 км, или число штативов в ходе такового, что погрешность определения превышения в ходе составляет более 1 мм, то предусматривается закладка дополнительного репера.

3 Ориентировочное расстояние (с использованием числа штативов) между парой реперов может быть определено по СКП высоты в удаленной точке, но не более 0,5 мм.

### 7.4.4 Размещение пунктов опорной плановой (планово-высотной) сети

7.4.4.1 Пункты плановой опорной сети должны быть запроектированы с условием возможности использования спутниковых и линейно-угловых измерений (полигонометрии, триангуляции, трилатерации, линейно-угловых засечек, створных измерений и их комбинаций).

7.4.4.2 В качестве внешней опорной плановой сети (аналогично 7.3.2.3) за пределами строительной площадки или промышленной площадки проектируются (или используются существующие) пункты спутникового координирования в виде одной из типовых фигур триангуляции и ли трилатерации.

## 8 Определение смещений деформационных знаков

### 8.1 Способы определения вертикальных смещений

#### 8.1.1 Общие требования

8.1.1.1 Вертикальные смещения объектов наблюдения рекомендуется определять геометрическим, тригонометрическим, гидростатическим нивелированием или комбинацией этих способов с учетом классификации по ГОСТ 24846.

8.1.1.2 Способ и класс измерений обосновывается в ПГМ исходя из требуемой точности определения вертикальных смещений и конструктивных особенностей сооружения и во всех циклах мониторинга должно выполняться с соблюдением следующих требований:

- применение одного и того же комплекта средств измерений или равного по точности комплекта средств измерений;

- средства измерения и измерительные принадлежности устанавливаются единообразно во всех циклах измерений;

- при регламенте один цикл в год он должен выполняться в одно и то же время года.

8.1.1.3 Рекомендуемая периодичность наблюдений вертикальных смещений в строительный и эксплуатационный периоды для объектов наблюдений приведена в приложении Г (таблица Г.1).

**Примечание** – Генеральный проектировщик может корректировать периодичность наблюдений, а организация, выполняющая мониторинг – методику измерений при аномальном ходе осадочного и других опасных процессов, при активации деформаций.

8.1.1.4 При разработке ПГМ необходимо учитывать следующие методические ограничения к нивелированию:

- высокоточное геометрическое нивелирование выполняется с ориентировочной точностью измерения 0,3 мм на 1 км хода, но ограничено в пространстве доступными для горизонтального визирного луча расстояниями до 50 м;

- высокоточное тригонометрическое нивелирование (наклонным лучом) выполняется с ориентировочной точностью от 2 до 3 мм, но ограничено атмосферными условиями и конструкцией пунктов;

- гидростатическое нивелирование выполняется с точностью до 0,01 мм, но ограничено расположением датчиков на уровне ( $\pm 20$  см) относительно каждого, длиной соединительных шлангов между ними.

### **8.1.2 Геометрическое нивелирование**

8.1.2.1 В соответствии с ГОСТ 24846–2019 (пункт 6.3.1) высокоточное геометрическое нивелирование из середины с использованием высокоточных оптических и цифровых нивелиров по ГОСТ 10528 следует применять в качестве основного метода измерения вертикальных смещений.

8.1.2.2 При проектировании и назначении методики нивелирования следует различать особенности классического и разрядного нивелирования, где считывание по основной и дополнительной шкалам (при классическом нивелировании оптическим прибором) заменяется сбивкой горизонта прибора (при разрядном нивелировании оптическими и электронными приборами).

В приложении Д.1 даны технические характеристики высокоточного нивелирования оптическими и электронными приборами.

8.1.2.3 Требования и ограничения к высокоточному нивелированию геодезического мониторинга:

- при нивелировании опорных сетей должны быть использованы технология

нивелирования II класса или I разряда с требованиями к точности, указанными в приложении Д.1 и использованием в уравнивании числа штативов в ходе;

- при уравнивании нивелирных сетей допустимые невязки должны быть рассчитаны по параметрам, указанным в таблице 8.1;

- использование допустимых невязок ( $3\text{мм}\sqrt{L_{\text{км}}}$  и  $5\text{мм}\sqrt{L_{\text{км}}}$ ) нивелирования I и II класса запрещено, так как разработано для линий с длиной более 20 км;

- замена левой или правой нивелировки в технологии нивелирования I класса двумя ходами (или сбивкой горизонта) запрещена, так как не выполняются условия контроля превышения задней или передней пары костылей (башмаков);

- замена прямого или обратного хода в технологии нивелирования II класса и 2 разряда одним ходом со сбивкой горизонта запрещена, так как не выполняются условия компенсации сдвига костылей (башмаков) по ходу;

Т а б л и ц а 8.1 – Параметры уравнивания высокоточного нивелирования

Параметры	Классическое нивелирование				Разрядное нивелирование			
	Оптические		Цифровые		Оптические		Цифровые	
	I	II	I	II	1	2	1	2 <sup>1)</sup>
СКП превышения на станции, мм	0,16	0,3	0,07	0,1	0,15	0,3	0,1	0,15
Допустимая невязка в замкнутом ходе ( $n$ – число станций), мм.	$0,16\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$	$0,1\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$
1) Нивелирование второго разряда выполняется при одном горизонте инструмента в прямом и обратном направлениях								

8.1.2.4 При проведении геодезического мониторинга зданий и сооружений, уравнивание высокоточного нивелирования должно выполняться с определением веса измеренного превышения по количеству штативов.

П р и м е ч а н и е – Использование требований к невязкам государственного нивелирования I и II класса с использованием в качестве веса длины линий в км запрещается, так как предназначены для оценки невязок в превышениях с длиной линий от 20 км и более.

8.1.2.5 Допускается использование веерного способа если перед началом работ будет выполнена поверка главного условия нивелира, а при уравнивании будут введены соответствующие поправки за неравноплечие.

П р и м е ч а н и е – Веерный способ может быть использован:

- при наборе превышений по ряду точек с установкой штатива посередине этого ряда и включением в уравнивание первого и последнего превышения, или с установкой двух штативов в начале



и в конце этого ряда и включением в уравнивание среднего превышения, полученного из двух положений штатива;

- с установкой одной из реек в качестве постоянной точки и перестановкой штатива относительно постоянной и наблюдаемой точек с соблюдением равноплечия и включением в уравнивание только постоянной точки. Наблюдаемые точки рассчитываются после уравнивания постоянной точки.

8.1.2.6 При необходимости нивелирования всяческого хода по реперам допускается измерение превышений через точку с соблюдением принятой методики нивелирования с последующим уравниванием как замкнутого полигона.

8.1.2.7 Во время строительства и в период эксплуатации должны быть учтены следующие особенности:

- в условиях вибрации предусматриваются ежедневные проверки уровня нивелира и реек; использование подкладок под ножки штатива с войлочной и резиновой прокладкой или виброгасители; снятие отчетов (оптические нивелиры) установкой биссектора трубы на ось симметрии амплитуды колебаний горизонтальной нити биссектора; усреднение отчетов (электронные нивелиры) из нескольких отдельных измерений;

- при визировании через конвективные потоки предусматривается уменьшение длины визирного луча от 3 до 5 м;

- при визировании в затемненных условиях дополнительное освещение шкал реек, уровней и отчетного приспособления инструмента.

8.1.2.8 При уравнивании результатов геометрического нивелирования следует учитывать, что исходными данными являются измеренные превышения с последующим их уравниванием как свободной сети (например, коррелятным способом).

**П р и м е ч а н и е** – Уравнивание параметрическим способом (с использованием высоты одного из реперов в качестве исходного) допускается для случаев, когда подтверждена стабильность положения исходного репера во времени или определены поправки в его высоту.

### **8.1.3 Тригонометрическое нивелирование**

8.1.3.1 Тригонометрическое нивелирование следует применять при определении смещений марок, закрепленных на высоко расположенных строительных конструкциях, или при больших перепадах высот.

8.1.3.2 Методика тригонометрического нивелирования классифицируется на одностороннее, двустороннее и нивелирование из середины. При этом рекомендуется:

- одностороннее нивелирование применять при наблюдении полярным способом с пунктов опорной сети;

- двустороннее нивелирование применять при создании опорной сети методом

тригонометрического нивелирования. Если позволяет точность и условия наблюдения, то при помощи этого метода возможны наблюдения за деформационными марками;

- применять нивелирование из середины при значительных расстояниях между опорной и определяемой точкой.

8.1.3.3 Значения превышения  $h$  должны вычисляться по формуле

$$h = S \operatorname{ctg} Z + i - v + \frac{(1-k)S^2}{2R \sin^2 Z}, \quad (8.1)$$

где  $S$  – горизонтальное расстояние между пунктами, м;

$Z$  – зенитное расстояние, °;

$i$  и  $v$  – высота прибора и визирной цели над пунктами, м;

$k$  – коэффициент вертикальной рефракции (обычно принимается равным 0,141);

$R$  – радиус земли, км;

8.1.3.4 При разработке методики тригонометрического нивелирования должны быть выполнены расчеты необходимого количества приемов измерения расстояний, вертикальных углов, высоты высот прибора и визирной цели.

#### 8.1.4 Гидростатическое нивелирование

8.1.4.1 Гидростатическое нивелирование следует применять для измерения относительных вертикальных смещений контрольных точек в случае отсутствия видимости между ними с учетом ограничений, связанных с установкой датчиков (водомерных стаканов) в одной и той же плоскости ( $\pm 10$  см) и зоной охвата равной длине шлангов.

8.1.4.2 При проектировании гидростатического нивелирования и методики измерений учитывают:

- необходимость контроля жидкости в гидростатической системе, включая химические и биологические свойства; контроля воздушных пробок и пузырьков; контроля температуры жидкости и учет температурных поправок в расчетах;

- необходимость контроля установки и положения датчиков, включая механические повреждения, влияния силовых агрегатов, вентиляторов;

- необходимость контроля соединительных шлангов, включая герметичность; предел прочности на растяжение (примерно от 0,5 до 0,8 т); коэффициент линейного расширения; старение; удары; надежность соединений; деформации поперечного сечения под влиянием изменения внешнего давления; химическую инертность;

- расположение соединительных шлангов в горизонтальной плоскости с погрешностью от минус 2 до плюс 2 см;

- необходимость контроля положения напорных резервуаров на подставках и

фундаментах (при необходимости – геометрическим нивелированием с установкой деформационных марок);

- общий контроль всей гидростатической системы к влияниям химического, биологического, радиационного, механического, электромагнитного и температурного воздействий.

8.1.4.3 В проекте должны быть предусмотрены защитные средства для функционирования гидростатической системы, включая:

- использование термоизолированных металлических защитных труб для защиты соединительных шлангов при размещении под землей;

- использование защиты для датчиков со свободным доступом к местам соединения шлангов со штуцерами для обнаружения утечки жидкости при измерениях.

8.1.4.4 Проект стационарной гидростатической системы (места размещения датчиков, шлангов и напорного резервуара) должен быть согласован со строительной организацией или службой эксплуатации объекта.

8.1.4.5 При проектировании должна быть предусмотрена связь наблюдаемых вертикальных смещений с используемой системой высот на объекте.

8.1.4.6 При проектировании следует учитывать геометрию объекта наблюдений:

- для объектов ограниченной формы и размеров должна быть предусмотрена замкнутая гидростатическая система;

- для линейных объектов должно быть предусмотрено размещение напорных резервуаров по концам сооружения с контролем стабильности опоры (фундамента) резервуара путем установки деформационных марок и геометрическим нивелированием от исходных реперов;

- для объектов с изменяющимся (ломаным) профилем по высоте должна быть предусмотрена установка нескольких самостоятельных перекрывающихся гидронивелирных систем.

8.1.4.7 Расчет СКП определения вертикального смещения марки должен осуществляться на основе СКП определения превышения между совмещающимися сосудами измерительной системы (включающая в себя погрешности за датчик, жидкость, внешние условия).

## **8.2 Способы определения горизонтальных смещений**

### **8.2.1 Общие требования**

8.2.1.1 Горизонтальные смещения объектов наблюдения в зависимости от задач геодезического мониторинга могут определяться относительно существующей системы координат или локально (при наблюдениях за отдельными конструкциями).

8.2.1.2 Следует учитывать, что при измерениях относительно опорной сети кроме погрешности метода и средств измерений существует погрешность определения координат

опорных знаков.

Поэтому, в соответствии с ГОСТ 24846–2019 (пункт 7.1) горизонтальные смещения объектов наблюдения следует измерять одним из следующих методов или их комбинированием: проецирования, линейно-угловыми построениями, с использованием прямых и обратных отвесов, стереофотограмметрией.

8.2.1.3 Допускается применять комбинированные методы измерений, позволяющие определять вертикальные и горизонтальные смещения одновременно, включая электронные тахеометры, спутниковые приемники, лазерные сканеры.

8.2.1.4 Горизонтальные смещения земляных сооружений могут наблюдаться с использованием полигонометрии, наземного лазерного сканирования, спутникового координирования относительно плановой опорной сети с обязательной оценкой ее устойчивости.

8.2.1.5 Рекомендуемая периодичность наблюдений горизонтальных смещений в строительный и эксплуатационный периоды для объектов наблюдения приведена в приложение Г (таблица Г.2).

## **8.2.2 Створные наблюдения**

8.2.2.1 Способ створных наблюдений при измерениях горизонтальных смещений фундаментов, несущих колонн, балок и других конструктивных элементов, проектное положение которых связано с определенным створом, следует применять при возможности обеспечения устойчивости концевых опорных знаков створа.

8.2.2.2 Допускается применение следующих высокоточных методов створных измерений: струнного, струнно-оптического, дифракционного, оптических способов на основе измерения малых (параллактических) углов при неподвижной визирной цели, с применением подвижной цели.

8.2.2.3 Методы створных измерений могут разрабатываться на основе различных программ измерений в зависимости от конкретных условий и применяемых приборов.

8.2.2.4 Оптический способ с использованием подвижной визирной цели следует применять для прямого измерения отклонения деформационной марки от створа в линейных величинах. При этом визирование на подвижную визирную цель, строго центрированную на марке, необходимо осуществлять алиниометрами, или точными и высокоточными теодолитами по ГОСТ 10529 или электронными тахеометрами с двухосевым компенсатором.

8.2.2.5 Способ измерения малых углов при помощи высокоточных теодолитов следует применять, когда существует возможность измерения расстояний от пункта стояния инструмента до марки.

8.2.2.6 Способ подвижной линии визирования основан на применении оптического геодезического прибора (теодолита, алиниометра, микротелескопа, автоколлиматора) совместно

с оптической микрометрической насадкой в качестве отсчетного устройства. Способ рекомендуется использовать при наличии данного оборудования.

8.2.2.7 Струнный и струнно-оптический способ необходимо применять при значительном влиянии рефракции на измерения в месте проведения работ.

8.2.2.8 Дифракционный способ рекомендуется применять в условиях, неотягощенных вибрацией.

8.2.2.9 Створные наблюдения при необходимости могут быть комбинированы с прямыми и обратными отвесами, используемыми в качестве исходных пунктов

### 8.2.3 Линейно угловые построения

8.2.3.1 Линейно угловые построения предназначены для определения горизонтальных смещений деформационных марок при необходимости оценки величины и вектора смещений сооружения, а также если точность триангуляции или трилатерации недостаточна, за счет ослабления негативного влияния геометрии схемы сети, уменьшения зависимости между продольным и поперечным сдвигами и жесткого контроля угловых и линейных измерений.

8.2.3.2 В зависимости от характера деформаций, свойств объекта и условий измерения могут включать в себя угловые и линейные засечки, специальные сети триангуляции и трилатерации (микротрилатерации), ходы полигонометрии.

#### Примечания

1 Угловые и линейные засечки используются для определения смещений недоступных точек сооружений.

2 Сети триангуляции и полигонометрии используются для определения смещений протяженных сооружений криволинейной формы.

3 Сети трилатерации и/или микротрилатерации используются на небольших участках для контроля взаимного положения отдельных конструкций или положения этих конструкций относительно опорной сети.

4 Сети микротрилатерации рекомендуется использовать для измерения горизонтальных смещений фундаментов ответственного оборудования с СКП менее 1 мм.

8.2.3.3 При назначении точности измерений должно выполняться условие равного влияния погрешности измерения углов и погрешности измерения линий в виде:

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{m_S}{S}, \quad (8.2)$$

где  $m_{\beta}$  – СКП измерения углов;

$m_S$  – СКП измерения длин сторон сети S;

$\rho$  – число секунд в радиане (206265").

8.2.3.4 Линейно угловые построения (при необходимости) могут быть комбинированы с прямыми и обратными отвесами, используемыми в качестве исходных пунктов с ориентацией плановых сетей в помещениях каждого горизонта объектов наблюдения двумя и более координированными отвесами.

#### Примечания

1 В зависимости от способа фиксации вертикальной линии допускается применять механические, оптические или лазерные отвесы с местом закрепления прямого отвеса в верхней части сооружения, обратного – в нижней или фундаментной части.

2 При использовании отвесов внутри сооружений башенного типа рекомендуется совмещать прямую и обратную системы отвесов в одном створе или проектировать от двух до трех более коротких отвеса на разных горизонтах сооружения. Для уменьшения влияния ветровой нагрузки и предохранения от механических повреждений проволоку отвеса рекомендуется помещать в защитную трубу.

3 При влиянии на результаты угловых измерений рефракции рекомендуется использовать механические отвесы с измерениями при помощи координатомера. Для уменьшения погрешности снятия отсчета по координатомеру за счет колебаний струны отвеса рекомендуется применять оптические или дистанционные средства измерений.

### 8.2.4 Способ спутниковых измерений

8.2.4.1 Способ спутниковых измерений допускается применять для определения горизонтальных смещений объектов наблюдения (в том числе и земляных), возведенных на открытой местности при больших расстояниях до исходных пунктов и отсутствии взаимной видимости между наблюдаемыми пунктами.

8.2.4.2 Программа спутниковых наблюдений, в том числе выбор метода определения целочисленных параметров измеренных фазовых псевдодальностей до космических аппаратов спутниковых систем, осуществляется в соответствии с характеристиками точности по ГОСТ Р 53607.

8.2.4.3 Опорная сеть для спутниковых измерений должна состоять минимум из трех пунктов, равномерно распределенных по внешней границе объекта и находящихся вне зоны деформаций. Взаимное положение центров определяется с большей точностью, чем требуемая точность определения деформаций.

Примечание – Допускается выполнение наблюдений несколькими перекрывающимися зонами, на которые делится вся создаваемая сеть. При этом смежные зоны должны иметь не менее трех общих центров.

## 8.3 Способы определения крена

### 8.3.1 Общие требования

8.3.1.1 Наблюдения за кренами должны выполняться в соответствии с требованиями

ГОСТ 24846, СП 22.13330, [4].

8.3.1.2 Величину крена допускается выражать в линейной, угловой и относительной мере, при этом:

- линейная величина определяется как длина отрезка между проекциями центра подошвы фундамента и положения центра верхнего или наблюдаемого сечения сооружения на горизонтальную плоскость;

- угловая величина определяется как острый угол между отвесной линией в центре подошвы фундамента и фактическим положением вертикальной оси сооружения на наблюдаемой высотной отметке;

- относительный крен сооружения определяется отношением линейной величины крена сооружения к высоте сооружения относительно подошвы фундамента.

8.3.1.3 Определение крена высотных сооружений проводится для зданий и сооружений, имеющих высоту (глубину) 75 м по СП 22.13330.2016 (приложение Л) по всей высоте (глубине) сооружения.

Примечание – При организации наблюдений крена зданий, сооружений или конструкций необходимо руководствоваться методикой измерения, временем и продолжительностью наблюдений, исключать или минимизировать действие на результат измерения крена факторов, вызывающих обратимые деформации объектов (прогибы/выгибы) от действия солнечной радиации; силы и давления ветра, собственных колебаний.

8.3.1.4 Определение крена башенного сооружения рекомендуется выполнять на нескольких высотных горизонтах.

8.3.1.5 Предрасчет точности измерения крена должен выполняться в зависимости от высоты или глубины наблюдаемого сооружения ( $H$ ) с использованием предельных погрешностей по ГОСТ 24846–2019 (пункт 7.3).

8.3.1.6 Предельные величины компонент деформаций приведены в приложении В.

8.3.1.7 Определение крена фундамента проводится на основании результатов геометрического, тригонометрического или гидростатического (в малодоступных помещениях) нивелирования по деформационным маркам, закладываемым по периметру фундамента.

8.3.1.8 Замена значений крена высотного сооружения креном его фундамента запрещена.

8.3.1.9 Рекомендуемая периодичность наблюдений крена в строительный и эксплуатационный периоды приведена в приложении Г (таблица Г.3).

8.3.1.10 При мониторинге крена башенного или глубинного сооружения заказчику или его уполномоченному представителю рекомендуется организовать проведение одновременных наблюдений за уровнем грунтовых вод и температуры на уровнях наблюдаемых сечений сооружения.

При невозможности организации измерения температуры учитывают ее изменение с высотой согласно ГОСТ 4401.

### **8.3.2 Координатный способ определения крена дымовых и вентиляционных труб**

8.3.2.1 Крен дымовых и вентиляционных труб координатным способом определяется с не менее чем четырех координированных опорных плановых пунктов со взаимной видимостью, размещенных на расстоянии от  $2H$  до  $3H$  ( $H$  – высота трубы, м) и расположенных так, чтобы угловые засечки от центра трубы на опорные знаки составляли бы углы около  $60^\circ$  на каждый последующий.

8.3.2.2 Наблюдения выполняются по горизонтам на видимые пояса (с шагом от 10 до 30 м по высоте) путем набора горизонтальных и вертикальных углов (методом круговых приемов) относительно ближайшего координированного пункта на обводящие контуры трубы (справа и слева) на каждый видимый пояс. Пояса обозначаются «а» – нижний пояс, от « $b_1$ » до « $b_n$ » – промежуточные пояса, «с» – верх трубы.

8.3.2.3 В процессе обработки при помощи прямой угловой засечки определяются координаты центра трубы на каждом поясе с последующим определением средних значений из каждого треугольника, образованного центром трубы и парой опорных пунктов.

8.3.2.4 По значениям вертикальных углов определяется средняя высота каждого пояса, которой и присваиваются вычисленные координаты каждого пояса.

8.3.2.5 Зная координаты центра трубы и высоту каждого из поясов определяют общий крен и возможные прогибы и выгибы ствола трубы.

8.3.2.6 В процессе анализа следует учитывать, что под влиянием ветра и солнца верх трубы (пояс «с») может описывать колебательные движения с амплитудой пропорциональной высоте трубы и свойствам ее материала. Направление крена фиксируется с точностью до  $5^\circ$  в принятой системе координат опорных знаков.

### **8.3.3 Способ вертикального проектирования**

8.3.3.1 Способ вертикального проектирования используется для определения крена строящегося или эксплуатируемого сооружения башенного типа при наличии над опорными пунктами, находящимися внутри здания, сквозных вертикальных каналов видимости.

8.3.3.2 При использовании данного способа должны выполняться следующие требования и установки:

- проектирование выполняют оптическим или лазерным прибором вертикального проектирования;

- на фундаментной плите закладывают четыре пункта (рекомендуется закладывать трубчатые металлические центры с отверстием для принудительного центрирования) на двух взаимно перпендикулярных осях или три знака, вписанные в круг, диаметр которого не



превышает диаметр сооружения в его верхнем сечении;

- при наблюдении объекта, имеющего перекрытия, закладывают вертикальные каналы видимости над опорными пунктами фундаментной плиты; размеры каналов зависят от расчетной амплитуды колебаний объекта;

- деформационная марка в виде палетки с координатной сеткой должна быть надежно закреплена на наблюдаемом горизонте или однообразно устанавливаться в каждом цикле относительно направлений главных осей сооружения;

- определение линейного смещения по направлениям осей сооружения от нижнего опорного знака выполняют минимум двумя приемами (с симметричными полуприемами – от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и от  $180^\circ$  до  $270^\circ$ ).

### **8.3.4 Способ определения крена при помощи прямых отвесов**

8.3.4.1 Рекомендуется систему контроля изменения крена сооружения или конструкции на основе прямого отвеса применять для объектов высотой или глубиной не более 15 м.

8.3.4.2 Верхний конец нити прямого отвеса фиксируется в верхней части наблюдаемого объекта.

8.3.4.3 Крен наблюдаемого сооружения и его направление определяются по отклонению прямого отвеса от закрепленного в основании сооружения или конструкции знака с учетом поправки за эксцентриситет отвеса и возможное кручение объекта под воздействием солнечной радиации.

8.3.4.4 Переносные или стационарные отсчетные приспособления закрепляются так, чтобы их координатная база была параллельна строительным осям сооружения или осям симметрии конструкции.

8.3.4.5 Координаты якоря отвеса и отсчетных устройств должны быть определены в системе координат объекта.

### **8.3.5 Способ определения крена при помощи обратных отвесов**

8.3.5.1 Струна обратного отвеса должна быть закреплена в основании сооружения. Верх струны должен жестко связываться с полым тором («поплавком»), плавающим в сосуде с жидкостью, и силой выталкивания приводить ее в отвесное положение.

8.3.5.2 Обратные отвесы должны иметь отсчетные устройства требуемого класса точности, которые закрепляются на наблюдаемых высотных или глубинных отметках сооружения. Координатная база отсчетных приспособлений должна быть параллельна строительным осям сооружения.

8.3.5.3 Отклонение сооружения от вертикали фиксируют при помощи отсчетных устройств, изменивших свое положение относительно вертикальной струны.

8.3.5.4 При расчете крена сооружения необходимо учитывать поправки за эксцентриситет

отвеса и возможное кручение объекта под воздействием солнечной радиации.

8.3.5.5 На этапе строительства рекомендуется использовать обратный отвес со съемной верхней частью.

### **8.3.6 Способ определения крена инклинометрами**

8.3.6.1 Изменение крена сооружения допускается определять стационарным или переносным инклинометром по изменению угла наклона специальной площадки (кронштейна), жестко закрепленной на наблюдаемом объекте и обеспечивающей однозначную установку прибора.

8.3.6.2 При периодических наблюдениях за изменением крена сооружения данный способ рекомендуется применять как дополняющий основные способы наблюдения.

8.3.6.3 Инклинометры (датчики наклонов) могут быть механическими, оптическими, электронными (аналоговыми или цифровыми).

8.3.6.4 Используемые электронные инклинометры должны иметь риски, определяющие ориентацию координатных осей. Плано-высотные координаты места расположения инклинометра должны быть определены.

8.3.6.5 При использовании стационарных инклинометров начальные измерения должны проводиться не ранее, чем через 3 дня после установки.

8.3.6.6 Места установки стационарных инклинометров должны быть снабжены защитными устройствами с доступом только обслуживающему персоналу.

### **8.3.7 Определение крена способом измерения малых углов**

8.3.7.1 Способ рекомендуется применять при отсутствии ориентирных пунктов и при наблюдениях крена сооружения по деформационным маркам.

8.3.7.2 При использовании данного способа должны выполняться следующие требования и установки:

- измерения должны выполняться с двух постоянно закрепленных опорных знаков, расположенных на взаимно перпендикулярных строительных осях;

- в первом цикле измерений определяются горизонтальные проложения между каждым опорным знаком и деформационной маркой, наблюдаемой с данного знака;

- измерение с опорного знака малых горизонтальных углов выполняется относительно направлений на деформационную марку, заложенную в нижнем сечении наблюдаемого объекта.

8.3.7.3 Углы между направлениями измеряются высокоточными теодолитами или точными тахеометрами. Измерения проводятся в периоды равномерного освещения боковой поверхности сооружения.

### **8.3.8 Определение крена способом координат**

8.3.8.1 Способ координат следует применять при определении крена объекта сложной

геометрической формы.

8.3.8.2 Координаты центров наблюдаемых сечений или закрепленных на наблюдаемых сечениях деформационных марок определяют с пунктов опорной сети одним из геодезических способов: полярным, прямой угловой и линейно угловой засечкой.

8.3.8.3 Рекомендуется каждый пункт опорной сети обеспечить минимум двумя ориентирными пунктами. В качестве ориентирного пункта может быть принят хорошо видимый предмет на местности. К ориентирным пунктам предъявляются следующие требования:

- расположены на расстоянии от 200 до 1000 м от опорного пункта;
- визирный луч на ориентирный пункт должен проходить не ниже 0,5 м от поверхности земли, не ближе 3 м от препятствий и 10 м от нагреваемых поверхностей (например, открытых тепловых коммуникаций на промышленных предприятиях).

8.3.8.4 При определении координат центров наблюдаемых сечений или деформационных марок прямой угловой засечкой должны выполняться следующие требования и рекомендации:

- измерение горизонтальных углов должно выполняться с двух постоянно закрепленных опорных знаков, расположенных на взаимно перпендикулярных строительных осях объекта. Если данное условие невыполнимо наблюдения должны выполняться с трех или более опорных знаков;

- при отсутствии деформационных марок визирование в процессе измерения углов рекомендуется выполнять по двум касательным к каждому наблюдаемому сечению, а среднее значение из этих направлений принимается за направление на центр наблюдаемого сечения;

- правильность визирования необходимо контролировать по зенитным расстояниям, высотам наблюдаемых точек или с помощью фотоизображений, выполненных в первом цикле наблюдений.

8.3.8.5 Крен сооружения ступенчатой формы, определяется аналитическим способом по величинам и направлениям крена каждой отдельной грани сооружения.

### **8.3.9 Определение крена способом наклонного проектирования**

8.3.9.1 Способ допускается применять при наблюдениях за креном сооружений высотой до 75 м при условии обеспечения видимости и доступа к основанию сооружения.

8.3.9.2 При измерении приращения крена способом наклонного проектирования должны выполняться следующие требования и установки:

- наклонное проектирование должно выполняться с двух постоянно закрепленных опорных знаков, расположенных на взаимно перпендикулярных строительных осях;

- наведение на контрольную точку в верхней части сооружения должно быть однозначно в каждом цикле измерений;

- измерения выполняются по надежно закрепленной или единообразно устанавливаемой

в основании объекта мониторинга линейке или рейке с помощью любого угломерного прибора;

- должен быть выполнен переход от составляющей отклонения в центральной проекции к ее ортогональной величине если верхняя контрольная точка и рейка не находятся в одной вертикальной плоскости.

### 8.3.10 Способ определения крена фундамента нивелированием

8.3.10.1 Способ применяется при наблюдениях за изменением крена фундамента относительно исходного цикла измерений.

8.3.10.2 Плановые координаты геометрического центра наблюдаемого объекта и деформационных марок должны быть определены в единой системе координат объекта.

8.3.10.3 Геометрическое нивелирование, выполняемое по деформационным маркам фундамента в каждом цикле наблюдений, должно выполняться по одним и тем же схеме и методике измерений в соответствии с рекомендациями 8.1.2.

## 8.4 Способы определения изменения взаимного положения точек поверхности

### 8.4.1 Общие положения

8.4.1.1 Методика и средства измерений, предназначенные для определения изменения взаимного положения точек поверхности, должны выбираться исходя из сложности и ориентирования регистрируемой поверхности и необходимой точности определения изменения взаимного положения точек поверхности.

8.4.1.2 Для поверхностей, ориентированных вертикально, предусматриваются наземные, для горизонтально – воздушные средства определения изменения взаимного положения точек поверхности.

Т а б л и ц а 8.2 – Основные методы определения взаимного положения точек сложной поверхности

Ориентация поверхности	Контролируемые цели	Название метода	Ориентировочная характеристика, точность измерения
вертикально	точки поверхности	отражательная и безотражательная, роботизированная тахеометрия	$\pm (1.0 \text{ мм} + 1.5 \text{ ppm})$ (с отражателем); $\pm (2.0 \text{ мм} + 1.5 \text{ ppm})$ мм (без отражателя) – в зависимости от расстояния до поверхности
вертикально	поверхность	наземное лазерное сканирование	$\pm (2 \text{ мм} + 10 \text{ ppm})$ – на расстоянии до 130 м до поверхности в соответствии с масштабом М 1:200
вертикально	изменение поверхности	наземная интерферометрия	изменение $\pm 0,1$ мм/цикл на 3D поверхности лазерного сканирования
горизонтально	точки поверхности	спутниковое координирование	$\pm (3.0 \text{ мм} + 0,1 \text{ ppm})$ в плане $\pm (5.0 \text{ мм} + 0,5 \text{ ppm})$ по высоте в режиме «статика»
горизонтально	поверхность	лидарные съемки	8–10 см в соответствии с масштабом М 1:1000
горизонтально	изменение поверхности	спутниковая радиолокационная интерферометрия	$\pm 5$ мм/цикл на 3D-поверхности спутникового лазерного сканирования

Ориентация поверхности	Контролируемые цели	Название метода	Ориентировочная характеристика, точность измерения
Пр и м е ч а н и е – Ориентировочная характеристика точности измерений принята по состоянию на январь 2020 года.			

#### **8.4.2 Использование автоматического режима электронного тахеометра**

8.4.2.1 Автоматический режим (роботизированного) электронного тахеометра предназначен для определения изменения положения строительных конструкций и технологического оборудования путем многократного переопределения координат, зафиксированных визирными целями (высокоточные призмы, призма 360°, минипризмы, пленочные отражатели) точек.

8.4.2.2 Программа измерений, включая порядок наведения (маршрут) на визирные цели, сроки и/или цикличность повторения измерений, формат хранения измеренных данных должна быть задана в специализированном программном обеспечении к роботизированному тахеометру, что позволяет в автоматическом режиме производить набор данных без участия наблюдателя, или в полуавтоматическом режиме с использованием беспроводной связи.

8.4.2.3 В программе автоматизированных наблюдений должен быть предусмотрен обязательный контроль стабильности положения тахеометров – автоматов путем переопределения координат самого тахеометра методом обратной засечки от стабильных пунктов, закрепленных точными минипризмами с учетом конструкции минипризмы и расстояний между тахеометром и призмой.

8.4.2.4 Расчет искомых параметров (трехмерные изменения координат (смещения), скорость смещения и другие величины) и формат их представления должны быть указаны в ПГМ и соответствовать возможностям программного обеспечения.

8.4.2.5 Электронные тахеометры-автоматы могут быть использованы для мониторинга состояния сооружений и объектов, как в качестве самостоятельной системы (прибора), так и в качестве составной части комплексного решения.

#### **8.4.3 Сканирование при помощи электронного тахеометра**

8.4.3.1 Для вертикально ориентированных поверхностей, требующих определения взаимного положения отдельных (контролируемых) точек, может быть предусмотрено сканирование, осуществляемое при помощи роботизированного тахеометра.

8.4.3.2 При проведении измерений положение сканирующего роботизированного тахеометра должно быть определено в соответствии с требованиями, предъявляемыми к координатам пунктов съёмочного обоснования при проведении исполнительных съёмок по СП 126.13330 и СП 11-104.

8.4.3.3 Для геодезического мониторинга в качестве станций должны быть использованы

постоянные плановые пункты с принудительным центрированием. При необходимости пункты с принудительным центрированием могут быть дооборудованы до стационарных помещений.

8.4.3.4 При проведении измерений на сканируемой поверхности должны быть предусмотрены контрольные точки, закрепленные отражателями, конструкция которых (призма 360°, минипризма, пленочный отражатель и другие аксессуары тахеометра) должна быть определена в зависимости от назначения контрольной точки, длины визирного луча и характера поверхности.

8.4.3.5 При сканировании протяженных поверхностей, предусматривающих сшивку облака точек с различных станций, точки, закрепленные отражателями, должны считаться основой для ориентирования точечных моделей и построения полигональной сетки.

#### **8.4.4 Наземное лазерное сканирование**

8.4.4.1 Наземное лазерное сканирование предназначено для получения трехмерной цифровой 3D модели сложных сооружений и внутренних съемок объектов размером от 0,5 см с точностью  $\pm (2 \text{ мм} + 10 \text{ ppm})$  в виде облака координированных точек.

8.4.4.2 При геодезическом мониторинге по координатам облака точек должен быть выполнен расчет изменения их положения относительно координат проектного положения поверхности, или координат исходного (первоначально зарегистрированного) облака точек наблюдаемой поверхности.

8.4.4.3 Положение наземного лазерного сканера должно быть зафиксировано в соответствии с требованиями, предъявляемыми к съемочному обоснованию при проведении исполнительных съемок по СП 126.13330 и СП 11-104.

8.4.4.4 Для оценки параметров деформаций полученные разности (смещения) координат облаков точек рекомендуется разложить на соответствующие составляющие – плановые и высотные в виде соответствующих карт и планов, с изолиниями вертикальных смещений и векторов горизонтальных смещений.

#### **8.4.5 Наземная (радарная) интерферометрия**

8.4.5.1 Наземная (радарная) интерферометрия выполняется для высокоточного измерения уклонов положения контролируемых точек поверхностей по изменению интерференционной картины и предназначена для объектов, изменяющих свое положение в краткосрочный период.

8.4.5.2 По результатам наземной радарной интерферометрии должны быть получены векторные цветовые спектрограммы, наложенные на растровое (иногда векторное) изображение (снимок) наблюдаемого объекта, позволяющие по цветовой шкале оценивать уклоны положения фиксированных точек объекта от первоначального положения.

8.4.5.3 В период проведения работ, интерферометр должен быть жестко закреплен таким образом, чтобы его положение было стабильным и не зависело от внешних воздействий.

#### **8.4.6 Воздушное лазерное сканирование и радарная спутниковая интерферометрия**

8.4.6.1 Воздушное лазерное сканирование (лидарная съемка) применяется для высокоточного картографирования линейных и площадных объектов в масштабах от М 1:500 до М 1:5000 с воздушных носителей (самолет, вертолет, автожир) с погрешностью от 50 мм и более, детальностью отрисовки ситуации и рельефа от 20 см.

8.4.6.2 Радарная спутниковая интерферометрия выполняется для оценки смещений земной поверхности с погрешностью от 10 мм и погрешностью оценки средних скоростей смещений от 5 мм/год в зависимости от числа серий снимков.

8.4.6.3 Методы воздушного лазерного сканирования (лидарная съемка) и радарной спутниковой интерферометрии при проведении геодезического мониторинга могут быть применены для условий, когда ожидаемый градиент скоростей современных движений земной поверхности или геодинамическая активность территории размещения объекта наблюдения превышает пороговое значение  $1 \times 10^{-5}$  1/год.

8.4.6.4 По материалам лазерного сканирования визуально дешифрируются участки развития оползней, обвалов, проявления карстово-суффозионных и криогенных процессов, селевые выносы, лавиноопасные склоны [СП 151.13330.2012 (подпункт 5.2.3.9 части 1)].

#### **8.5 Геодезические наблюдения за трещинами**

8.5.1 Геодезические наблюдения за трещинами выполняются в соответствии СП 305.1325800 и СП 13-102.

8.5.2 При проведении наблюдения за трещинами в рамках геодезического мониторинга, в ПГМ должен быть включен соответствующий раздел.

##### **Примечания**

1 На этапе строительства объекта наблюдения периодичность наблюдений состояния выявленных трещин устанавливается:

- при работах ниже нулевой отметки – 1 раз в периоде от 10 до 20 дней;
- при работах выше нулевой отметки – 1 раз в периоде от 15 до 30 дней.

2 В период эксплуатации периодичность проведения наблюдений определяет главный инженер объекта наблюдения по рекомендациям генерального проектировщика. Время проведения измерений трещин и циклов наблюдения за осадками сооружения необходимо совмещать. Периодичность наблюдений должна корректироваться исходя из скорости развития деформаций.

8.5.3 Если точность измерения трещин не указана в ТЗ, должны применяться инструменты, позволяющие обеспечить СКП измерения длины трещины не хуже 1,0 см, а ширины – 0,1 мм. При ширине трещины более 1,0 мм измеряется ее глубина.

8.5.4 Наблюдения за текущим состоянием трещин проводят с помощью щелемеров, способами прямых линейных измерений или косвенных измерений с помощью геодезических

приборов в соответствии с ГОСТ Р 58939. При наблюдениях за трещинами с помощью марочных щелемеров за контролируемую величину принимается кратчайшее расстояние между марками.

8.5.5 Решение о прекращении наблюдений трещин принимает генеральный проектировщик на основе анализа результатов периодических наблюдений.

8.5.6 Наблюдения за раскрытием трещин с помощью маяков однократного и постоянного использования осуществляют путем установки от одного до трех маяков (в месте наибольшего раскрытия и у концов трещины) и фиксации даты.

#### Примечания

1 Маяки однократного использования [гипсовые пластины с размерами 10 X 4 X (0,8–1,0) см] применяют для определения активности трещины.

2 Для постоянной фиксации параметров трещин используются одно-, двух-, трехосные щелемеры и маяки-щелемеры; наблюдения за швами/стыками выполняется только с использованием щелемеров и маяков-щелемеров.

3 Маяки и маяки-щелемеры, имеющие шкалу для наблюдений, не являются средствами измерений.

8.5.7 Линейные измерения трещины должны выполняться с помощью линеек, рулонок, штангенциркулей, индикаторов часового типа, микроскопов и других специальных средств измерений.

#### Примечания

1 Длина измеряется между штрихами, нанесенными на поверхности конструкции по концам трещины с точностью 1 см.

2 Ширину раскрытия трещин допускается определять с точностью измерений не ниже 0,1 мм и обозначением места измерений на конструкции.

3 Глубина трещин определяется с помощью щупов, игл или ультразвуковых приборов.

8.5.8 Геодезические наблюдения за трещинами выполняются в тех случаях, когда невозможны прямые линейные измерения трещин и невозможна установка для фиксирования развития трещин при помощи маяков.

#### Примечания

1 Длина измеряется между штрихами, нанесенными на поверхности конструкции по концам трещины, по координатам крайних точек трещины, полученным с помощью безотражательных тахеометров.

2 Ширину раскрытия трещин рекомендуется вычислять по определяемым электронным тахеометром координатам деформационных парных марок, закрепленных по разные стороны от наблюдаемой трещины.



8.5.9 При недоступном положении трещины следует использовать тахеометры со встроенной измерительной концентрической шкалой и внутренним специализированным программным обеспечением, что позволяет дистанционно определять форму и ширину трещины.

8.5.10 По результатам измерений в составе технического отчета должен быть представлен каталог координат контрольных точек трещин (от двух и более точек на трещину) на дату измерений, чертеж с расположением и текущим состоянием трещин, щелемеров и маяков.

## **8.6 Автоматизированные системы геодезического деформационного мониторинга**

8.6.1 Автоматизированные методы геодезического деформационного мониторинга предназначены для определения изменений геометрического положения и размеров наблюдаемого объекта при помощи автоматических датчиков (сенсоров) на момент изменения и по запросу удаленного пользователя.

8.6.2 Требования и технические характеристики автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга приведены в СП 126.13330.2017 (приложение Е, пункт Е.3).

8.6.3 В состав автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга должны входить сертифицированные геодезические методы и средства измерений, включающие программное обеспечение, позволяющее управлять этими средствами в соответствии с ранее установленной программой проведения измерений удаленно.

8.6.4 Состав автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга зависит от набора контролируемых параметров деформаций, объединенных единым программным комплексом, включающим в качестве датчиков (сенсоров) методы, средства и требования, описанные в разделах настоящего стандарта:

- роботизированная тахеометрия (см. 8.4.3);
- высокоточная инклинометрия (см. 8.3.6);
- гидростатическое нивелирование (см. 8.1.4);
- спутниковое координирование (см. 8.2.4);
- лазерное сканирование (см.8.4.4).

8.6.5 В зависимости от назначения и целей мониторинга в состав автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга могут входить датчики сопутствующих измерений (датчики геотехнического контроля, датчики неразрушающего контроля).

8.6.6 Назначение параметров, разработка проекта автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга и установка оборудования должны выполняться специализированными организациями. Проект автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга должен быть согласован с генеральным проектировщиком или с уполномоченным представителем заказчика эксплуатирующей организации.

8.6.7 Автоматизированная система геодезического деформационного мониторинга должна:

- функционировать непрерывно с регулируемой дискретностью измерений;
  - выполнять самокалибровку без демонтажа;
  - обеспечивать требуемую точность и однородность измерений, исключая субъективные ошибки измерений и иметь возможность удаленного доступа.
- осуществлять автоматический сбор данных и выполнять предварительный анализ полученной информации, а при выявлении критических величин или опасных тенденций (увеличения скорости деформационных процессов) иметь возможность автоматического оповещения соответствующих служб.

8.6.8 Программное обеспечение для автоматизированной системы геодезического деформационного мониторинга сооружения должно обеспечивать сбор, систематизацию, хранение, анализ, отображение и передачу пространственно-координатных данных о контролируемых конструктивных элементах наблюдаемого объекта.

## **8.7 Камеральная обработка полевых измерений**

### **8.7.1 Регистрация геодезических измерений**

8.7.1.1 В ходе проведения геодезического мониторинга результаты наблюдений должны храниться в электронной форме и, при необходимости, в журналах наблюдений.

8.7.1.2 Для регистрации данных полевых измерений допускается использование любых электронных накопителей информации, поддерживаемых программным обеспечением геодезических инструментов. При этом перенесение данных с электронного регистратора геодезического прибора на жесткий носитель выполняется после окончания рабочего дня (периода).

8.7.1.3 Каждому файлу, содержащему результаты измерений, должно быть присвоено уникальное имя (обычно включающее дату, идентификатор объекта и метку, обозначающую, что этот файл является «исходным»), которое фиксируется в соответствующих журналах с указанием даты создания, веса файла и фамилии исполнителя.

8.7.1.4 Файлы с меткой «исходный» хранятся в неизменном виде. Вся дальнейшая обработка выполняется при помощи копии файла, в имя которого добавляется метка, обозначающая, что этот файл является «рабочим».

8.7.1.5 Материалы полевых наблюдений из электронных запоминающих устройств рекомендуется распечатать на бумажном носителе, снабдить пояснительной запиской, схемой измерения. Все материалы заверяются подписями исполнителя работ и принявшего их руководителя.

8.7.1.6 При регистрации наблюдений на бумажном носителе используются журналы

наблюдений, которые являются документами строгого учета, страницы которых должны быть прошнурованы, пронумерованы и скреплены штампом.

8.7.1.7 В журнале измерений указывают наименование и адрес организации, выполнявшей измерения, фамилию и должность исполнителя, дату выполнения измерений; тип и номер инструмента, которым вели измерения; сведения о постоянных поправках прибора; условия измерений (например, освещенность, видимость, температура объекта и окружающего воздуха); результаты приемки работы руководителем.

8.7.1.8 При использовании специализированных БД полевые наблюдения должны быть введены в соответствующие неизменяемые формы СУБД. Для длительного хранения материалы полевых наблюдений на бумажном носителе должны быть сданы в архив.

### **8.7.2 Проведение камеральной обработки результатов измерений**

8.7.2.1 В ходе проведения камеральной обработки цикла измерений должны быть выполнены:

- предварительная оценка точности измерений;
- уравнивание результатов измерений по исходной (опорной) сети и оценка устойчивости исходной (опорной) сети при выполнении двух и более циклов повторных измерений;
- уравнивание деформационной сети;
- оценка точности результатов очередного (текущего) цикла измерений.

8.7.2.2 При проведении полевых наблюдений рекомендуется осуществлять сравнение результатов текущего измерения и результатов предыдущих измерений.

8.7.2.3 Для уравнивания результатов нивелирования может быть использован как коррелятный способ (параметрический способ допускается для случаев, когда подтверждена стабильность положения исходного репера во времени), так и упрощенные способы (способ приближений, способ эквивалентной замены, аналитический способ Попова).

Для уравнивания результатов плановых измерений используются только строгие способы (коррелятный или параметрический).

8.7.2.4 Уравнивание результатов измерений рекомендуется выполнять с использованием программного обеспечения.

8.7.2.5 При мониторинге деформаций объектов наблюдения уравнивание опорной и деформационных сетей должно быть отдельным, при этом:

- исходная (опорная) сеть уравнивается как свободная, отдельно от деформационной сети и сети привязочных ходов;
- деформационные сети уравниваются отдельно для каждого наблюдаемого объекта;
- во избежание перераспределения погрешностей в привязочных ходах последние уравниваются после уравнивания исходной (опорной) сети и деформационных сетей каждого из

объектов.

8.7.2.6 Оценка устойчивости территории и контроль стабильности положения исходной (опорной) высотной и плановой сетей выполняется в соответствии с ГОСТ 24846–2019 (пункт 5.1.8) для каждого цикла наблюдений.

8.7.2.7 В процессе строительства при проведении циклов повторных измерений с периодичностью четыре раза в год и более, цикличность повторных измерений по внутренней опорной сети допускается уменьшать до двух раз в год и внешней опорной сети – до одного раза в год.

8.7.2.8 Оценка точности результатов очередного цикла измерений выполняется по результатам уравнивания. При этом основным оцениваемым параметром является СКП превышения удаленной точки (марки) от исходных реперов.

## **9 Анализ и прогноз результатов геодезического мониторинга**

### **9.1 Предварительная обработка данных мониторинга**

#### **9.1.1 Общие положения**

9.1.1.1 Результатами геодезического мониторинга являются значения параметров деформаций в виде временных рядов по циклам измерений по каждому объекту наблюдений, включая территорию размещения этих объектов.

9.1.1.2 Перед вычислением искомых параметров деформаций все измеренные данные должны быть приведены к виду, позволяющему производить вычисления искомых параметров деформаций, в том числе и скорости изменения параметров деформаций, а также должны быть пригодны для составления прогнозных статистических временных моделей.

9.1.1.3 Обязательной процедурой при предварительном анализе временных рядов объекта наблюдений является контроль результатов измерений (временных рядов) между соседними по расположению знаками деформационной сети, а также изменения наблюдаемых величин во времени.

В приложении Е даны примеры графиков визуально-аналитического способа контроля.

9.1.1.4 По результатам сравнительного анализа должна быть выявлена пригодность наблюдаемых данных для дальнейшего анализа, включая:

- контроль и расчет параметров перезакладки деформационных знаков;
- компенсацию и устранение (по возможности) пропусков во временных рядах;
- приведение временных рядов к единой по времени исходной для расчетов дате на каждый объект наблюдений.

9.1.1.5 Ряды временных данных результатов повторных измерений по объекту наблюдений должны быть обработаны в следующей последовательности:

- на первом этапе данные должны быть отбракованы и освобождены от грубых погрешностей, полученных при анализе временного ряда данных;

- на втором этапе должны быть компенсированы значительные пропуски наблюдений и пересчитаны с учетом смещений, образующихся при перезакладке знаков;

- на третьем этапе данные должны быть приведены к единой исходной дате начала расчета параметров деформаций для каждого из контролируемых объектов.

Вычисления должны выполняться в указанной последовательности, а полученные для последующих расчетов временные ряды исходных данных рекомендуется называть приведенными или преобразованными.

9.1.1.6 В процессе приведения, включающего восстановление пропущенных значений, корректировку данных за счет перезакладки знаков или марок и приведение к исходной дате, используются численные методы – простая, билинейная, бикубическая интерполяция и экстраполяция по геодезическим временным рядам данным соседних марок, включая высоты и координаты, межцикловые и суммарные вертикальные смещения и разности приращений координат.

*Примечание* – Для приведения рекомендуется одновременно использовать таблицы временных рядов исходных данных, межцикловых смещений, суммарных смещений и приведенных данных [приложение Ж (рисунок Ж.1)]

9.1.1.7 Выбор соседних марок (при интерполяции) должен определяться близостью по расстоянию к положению приводимой марки и коэффициентом взаимной корреляции результатов повторных наблюдений  $R_{i,j}$ , определенного по формуле

$$R_{i,j} = \frac{\sum(\Delta H_{j,t} - \Delta H_{j,сп.})(\Delta H_{i,t} - \Delta H_{i,сп.})}{\sqrt{\sum(\Delta H_{j,t} - \Delta H_{j,сп.})^2 (\Delta H_{i,t} - \Delta H_{i,сп.})^2}}, \quad (9.1)$$

где  $i, j$  – номера марок;

$t$  – номер цикла измерений;

$\Delta H$  – вертикальное смещение марки, мм.

*Примечание* – Для интерполяции рекомендуется использовать ряды с коэффициентами взаимной корреляции более 0,8.

9.1.1.8 Простая линейная интерполяция по соседней геодезической марке может производиться с использованием межцикловых или суммарных смещений  $u_{i,j}(t)$ , тогда уравнением для расчета будет

$$u_{i,j}(t) = k_0 + ku_{i,t} \quad (9.2)$$

где  $u_{i,j}$  – величина суммарного смещения  $i$ -ого или  $j$ -ого геодезического знака на момент времени  $t$ ;

$k_0$  и  $k$  – независимые коэффициенты, получаемые при линейной аппроксимации.

9.1.1.9 Интерполяция и экстраполяция временных рядов межцикловых и суммарных смещений производится с учетом связи между суммой межцикловых смещений и разностью значений суммарных смещений.

9.1.1.10 Интерполяция значений временного ряда может быть выполнена путем приближения к известным видам аналитических функций. В отдельных случаях временной ряд может быть ограничен временным промежутком, в пределах которого могут быть использованы полиномы первого порядка, при необходимости – второго порядка.

### **9.1.2 Расчет пропущенных значений**

9.1.2.1 Количество геодезических марок в каждом цикле измерений, число данных во временном ряде (высот, координат) и сопряженных с ними рядов (превышений и приращений) должно быть равным.

9.1.2.2 Если это условие не выполняется и в ряду имеются пропущенные значения, то в последующих расчетах, полученные значения (например, средняя осадка или относительный крен) по циклам измерений будут иметь различный вес и СКП их определения. Поэтому, при необходимости (например, при перезакладке пункта или марок, или при приведении к единому исходной дате), допускается расчет пропущенных значений.

9.1.2.3 Расчет пропущенных значений может выполняться методом интерполяции временных рядов соседних пунктов или марок по рядам межцикловых и суммарных смещений или с использованием статистической модели тренда данных по времени.

Рекомендуется расчет пропущенных значений выполнять по временным рядам межцикловых смещений.

Расчет пропущенных значений по суммарным смещениям используется в том случае, если отклонения от линейного тренда соседних временных рядов межцикловых смещений больше, чем доверительный интервал, назначаемый равным СКП определения смещения уничтоженной марки.

Расчет пропущенных значений по исходным данным (высотам и координатам) с использованием модели тренда данных во времени применяются в том случае, если интерполяция по межцикловым или суммарным смещениям невозможна.

### **9.1.3 Расчет смещения при перезакладке деформационных знаков**

9.1.3.1 Определение величины перезакладки деформационного знака или марки выполняется в тех случаях, когда знак или марка были уничтожены и на их место или вблизи

установлены новые.

9.1.3.2 Отыскание величины перезакладки осуществляется по временным рядам межцикловых и суммарных смещений соседних знаков или марок. При этом при нивелировании используются вертикальные смещения, при линейно-угловых (плановых) и спутниковых измерениях – приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ , являющихся параметрами перезакладки.

9.1.3.3 Отыскание параметров перезакладки производится по рядам межцикловых смещений соседних марок, для которых график функции взаимных смещений является прямой и подлежит аппроксимации полиномом по формуле (9.2).

9.1.3.4 Контролем служит дисперсия разностей наблюдаемых и избыточных значений высот (координат), сравниваемая с СКП суммарного смещения уничтоженной марки.

Если линейная интерполяция по соседней марке с использованием межцикловых смещений обладает дисперсией большей, чем СКП определения смещения удаленной марки, то отыскание величин производится при помощи интерполяции суммарных смещений.

#### **9.1.4 Выбор и назначение исходной для расчетов даты измерений**

9.1.4.1 Анализ смещений марок деформационной сети должен проводиться на единую дату по каждому объекту наблюдений.

Расчет суммарных величин (средней или максимальной осадки, относительной разности осадки, относительного крена) с разными исходными датами запрещен.

9.1.4.2 Требование использования в качестве исходной для расчетов даты начала нулевого цикла строительных работ должно быть обосновано и конкретизировано.

9.1.4.3 Если исходная дата не назначена, а даты начальных циклов деформационной сети не совпадают, то исходную для расчетов дату выбирают по наибольшему количеству одновременно наблюдаемых знаков в начале измерений, позволяющих оценить параметр деформации.

9.1.4.4 Если исходная дата назначена и на эту дату имеется более 75 % данных временных рядов, то для восполнения отсутствующих величин используются:

- регрессионные модели функции суммарных смещений;
- графическая (метод изолиний суммарных смещений) и аналитическая интерполяции суммарных смещений не менее чем двух соседних знаков.

### **9.2 Оценка устойчивости территории и стабильности опорной сети**

#### **9.2.1 Устойчивость и стабильность геодезических центров и реперов**

9.2.1.1 Оценка устойчивости и стабильности геодезических центров и реперов опорной сети выполняется в соответствии с ГОСТ 24846, СП 126.13330, СП 317.1325800.

9.2.1.2 Оценки устойчивости геодезических центров и реперов опорной сети являются оценками влияния дестабилизирующих факторов, причинами которых может быть комплекс

факторов:

- эндогенного характера, включая вертикальные и горизонтальные современные движения земной коры и поверхности и тектонический крип [10] (пункт 2.4.2.2);

- природного экзогенного характера, включая подъемы и осадки, в том числе морозное пучение грунтов; барражные эффекты, оседания и провалы, связанные изменением гидрогеологического режима и свойств грунтов и грунтовых вод в соответствии с СП 22.13330.

9.2.1.3 Количественная оценка геодинамической активности территории может быть представлена в виде карт скоростей вертикальных и/или горизонтальных смещений, определяемых геодезическими методами по смещениям центров и реперов, а сама процедура получения этих оценок является оценкой устойчивости опорной сети.

9.2.1.4 Оценки стабильности геодезических центров и реперов опорной сети являются оценками влияния дестабилизирующих факторов на зону или всю территорию размещения опорной сети. Территория считается стабильной, если в пределах одной и той же зоны горизонтальные и/или вертикальные смещения геодезических центров и реперов опорной сети столь незначительны, что их смещения остаются в пределах погрешности их измерений.

9.2.1.5 Под стабильностью опорной сети понимается неизменность положения центров и реперов опорной сети по отношению друг к другу и может характеризоваться значением смещений или их вектором (значением скорости и направлением) пределах выделенной территории.

9.2.1.6 Выделение стабильных центров и реперов должно выполняться путем зонирования (разграничения) территории на локальные зоны с центрами и реперами, отклонения положения которых входят в диапазон СКП их определения, а полученные в циклах измерений разности пренебрежимо малы. Минимальное число стабильных центров и реперов в локальной зоне должно быть не менее трех.

9.2.1.7 Оценки устойчивости всей опорной сети являются показателями геодинамической активности территории и в процессе геодезического мониторинга должны быть использованы в качестве поправок к наблюдаемым параметрам деформаций строительных конструкций объектов наблюдения.

9.2.1.8 Оценки устойчивости (геодинамической активности) территории по скоростям смещений опорной сети рекомендуется формировать с использованием кустов реперов различной глубины заложения, что дает возможность для интерпретации причин геодинамической активности.

9.2.1.9 Не рекомендуется обобщенная одновременная оценка устойчивости всех реперов с различной глубиной заложения.

9.2.1.10 Если опорная сеть представлена внешней и внутренней опорными сетями по



СП 126.13330, то внешняя сеть условно может считаться свободной от влияния строительства или эксплуатации.

9.2.1.11 Оценка устойчивости внешней и внутренней высотной опорной сети выполняется раздельно и включает:

- 1 этап – оценку внешней опорной сети, определение скоростей вертикальных смещений и интерполяция полученных параметров на территорию, закрепленную пунктами и реперами внутренней опорной сети;

- 2 этап – оценку устойчивости внутренней опорной сети, включая оценку скоростей вертикальных смещений как показателей оценки устойчивости.

9.2.1.12 В пределах выделенных зон вновь выполняется расчет и оценка стабильности опорной сети, на основе которых выбираются исходные знаки для дальнейшего расчета параметров деформаций.

9.2.1.13 Критерием стабильности опорной высотной сети является градиент скоростей вертикальных смещений  $1 \times 10^{-6}$  1/год и менее. Критерий стабильности определен исходя из критерия стабилизации осадки сооружения, принятого в [6].

9.2.1.14 Критерием стабильности опорной плановой сети является градиент горизонтальных смещений  $5 \times 10^{-6}$  и менее. Критерий стабильности определен исходя из критерия, предъявляемого к экстремально медленным (по скорости) оползням по СП 420.1325800.2018 (таблица 3).

## 9.2.2 Оценка устойчивости реперов по изменениям превышений

9.2.2.1 Оценка устойчивости реперов по изменениям превышений между ними выполняется в тех случаях на первом этапе постановки геодезического мониторинга, когда количество циклов повторных измерений меньше или равно 3, а сама сеть дооборудуется реперами.

9.2.2.2 Оценка устойчивости реперов выполняется путем определения минимального среднего вертикального смещения и/или скорости вертикальных смещений из всех вариантов выбора исходного знака. Такое среднее  $\min \frac{\sum \Delta H_{i,j}}{n-1}$  оценивается по формуле:

$$\min \frac{\sum \Delta H_{i,j}}{n-1} \in |\Delta H_{i,j} - \Delta H_{i,j}^T| \text{ или } \min \frac{\sum \Delta V_{i,j}}{n-1} \in |\Delta V_{i,j} - \Delta V_{i,j}^T| \text{ для всех } j \neq i \quad (9.3)$$

где  $\Delta H_{i,j}$  или  $\Delta V_{i,j}$  – вертикальное смещение;

$H$  – скорость вертикальных смещений  $V$  при условии, что репер с индексом  $i$  из множества реперов  $j$  принят за исходный.

Примечание – Кососимметричная матрица  $|\Delta H_{i,j} - \Delta H_{i,j}^T|$  вертикальных смещений с

нулевой диагональю также определима по значениям изменения превышений, так как  $\Delta H_{j,t,t=0} - \Delta H_{i,t,t=0} = h_{i,j,t} - h_{i,j,t=0}$ , что позволяет использовать в качестве исходных данных только превышения  $h_{i,j,t}$  между реперами, так и скорости их изменений ( $v_{i,j}$ ).

Следует учитывать, что оценки  $\frac{\sum \Delta H_{i,j}}{n-1}$  и/или  $\frac{\sum \Delta V_{i,j}}{n-1}$  зависят значений от полученного ряда  $\Delta H_{i,j}$  ( $\Delta V_{i,j}$ ). При этом чем большую территорию охватывают центры и реперы общим числом  $j$ , тем больший диапазон смещений  $\Delta H_{i,j}$  ( $\Delta V_{i,j}$ ).

9.2.2.3 В процессе оценки устойчивости рассчитывается обратный вес ( $P_{j,i} = \frac{1}{n_{j,i}}$  и  $P_{j,i} = \frac{1}{L_{j,i}}$ ) каждого вертикального смещения по количеству штативов ( $n_{j,i}$ ) или длине линии нивелирования ( $L_{j,i}$ ) и СКП определения вертикального смещения или изменения превышений:

$$M_{\Delta H(j,i)} = \mu_{j,i} \sqrt{\frac{1}{P_{j,i}}}, \quad (9.4)$$

где  $\mu_{j,i}$  – СКП единицы веса, определенному по числу штативов или длине линии.

9.2.2.4 Критерием к оценке устойчивости репера является выражение:

$$\Delta H_{j,i} = h_{j,i,t} - h_{j,i,t=0} < \mu_{j,i} \sqrt{\frac{1}{P_{j,i}}}, \quad (9.5)$$

где  $\Delta H_{j,i}$  – вертикальное смещение  $j$ -го репера относительно принятого за исходный  $i$ -го репера, мм;

$h_{j,i,t}$  и  $h_{j,i,t=0}$  – превышения между  $j$ -ым и  $i$ -ым исходным реперами в  $t$ -ый и  $t = 0$  исходный циклы повторного нивелирования;

$\mu_{j,i}$  – СКП единицы веса (штатив/длина линии), определяемая исходя, из примененного метода высокоточного нивелирования.

9.2.2.5 Полученные вертикальные смещения показываются на карте изолиний вертикальных смещений реперов опорной высотной сети, одновременно являющейся:

- основой для выделения территории, в пределах которой часть реперов будет считаться стабильной;
- предварительной оценкой проявления геодинамической активности территории.

### 9.2.3 Оценка устойчивости по скоростям изменений превышений между реперами

9.2.3.1 Оценка устойчивости опорной высотной сети по скоростям вертикальных смещений должна выполняться в тех случаях, когда число циклов повторных измерений более 4. Алгоритм оценки устойчивости аналогичен приведенному в 9.2.2.

9.2.3.2 Оценка устойчивости опорной высотной сети по скоростям вертикальных смещений может выполняться по измеренным превышениям (рекомендуется<sup>1)</sup>) и уравненным превышениям, при этом:

- рассчитывается скорость изменения превышений между реперами;
- выполняется уравнивание скоростей изменений превышений;
- выполняется табличный расчет в матрице оценки устойчивости опорной геодезической сети (приложение И);
- определяется наиболее устойчивый репер по минимальной скорости вертикальных смещений.

9.2.3.3 Скорости изменения превышений между реперами  $\Delta h_{ij}(t)$  определяются из аппроксимации ряда превышений  $\Delta h_{ij,t=k>3}$  между соседними  $i$  и  $j$  реперами для всех циклов  $k$  с  $t = k > 3$

$$\Delta h_{ij}(t) = \Delta h_{0,ij} + V_{h,ij} t, \quad (9.6)$$

9.2.3.4 Средняя погрешность полученной скорости изменения превышения  $M_{V,ij}$  определяется при помощи коэффициента достоверности по формуле

$$M_{V,ij} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{h_{ij}(t) - (\Delta h_{0,ij} + V_{h,ij} t)}{h_{ij}(t)} \right| 100 \%, \quad (9.7)$$

где  $n$  – количество измеренных превышений (количество циклов);

$h_{ij}(t)$  – превышение между  $i$  и  $j$  реперами на время  $t$  цикла нивелирования, мм;

$\Delta h_{0,ij} + V_{h,ij} t$  – линейная модель, полученная из аппроксимации временного ряда превышений полиномом первого порядка по времени, мм;

$V_{h,ij}$  – скорость изменения превышения, мм/год.

Допустимая ошибка не должна превышать 10 %.

9.2.3.5 По полученным значениям  $V_{h,ij}$  составляется схема уравнивания скоростей изменений превышений, с учетом того, что замкнутом полигоне теоретическая сумма скоростей изменений  $V_{h,ij}$  должна быть равна нулю, то есть

---

<sup>1)</sup> Использование неуравненных превышений для определения линейной модели скорости изменений предпочтительнее, так как в процессе уравнивания погрешности определения превышения в ходе из нескольких линий нивелирования могут быть компенсированы.

$$\sum V_{h,ij} = 0. \quad (9.8)$$

По всем замкнутым полигонам определяются невязки скоростей изменений превышений.

9.2.3.6 В качестве веса  $P$  для каждого превышения может выступать или среднее число штативов в ходах  $n_{ij,ср.}$ , или средняя длина линии повторного нивелирования между реперами  $L_{ij,ср.}$ , определенной по сумме длин визирных линий на каждой станции, регистрируемых в приборных файлах.

9.2.3.7 Допустимая невязка  $f_{доп.V}$  при вычислении скоростей в замкнутом полигоне определяется по длине наиболее длинной линии, определяемой или по числу станций  $n$ , или по длине хода между реперами  $L$ , по наименьшему числу циклов повторного нивелирования  $k$  и наименьшему диапазону повторных измерений  $T$ , в годах, с использованием соотношения для числа штативов

$$f_{доп.V} = \frac{\mu_n \sqrt{2n}}{T\sqrt{k}}, \quad (9.9)$$

или для длины хода

$$f_{доп.V} = \frac{\mu_L \sqrt{2L}}{T\sqrt{k}}, \quad (9.10)$$

где  $\mu_h$  и  $\mu_L$  – средняя квадратическая ошибка определения превышения соответственно на 1 штатив и на 1 км нивелирного хода, мм;

$T$  – общий период наблюдений, годы, из числа  $k$  – принятых к обработке превышений в ходе из 1-ой линии.

9.2.3.8 Если для оценки изменений превышений используются составные (комбинированные) данные с различными сроками исполнения нивелировок, различной цикличностью, а также при значительной (более 1 км) длине ходов нивелирования опорной сети и различной точностью повторных измерений, то при расчете допустимой невязки должны использоваться значения  $\mu_h$  и  $\mu_L$  наименее точных измерений.

9.2.3.9 Распределение невязок в полигонах выполняется уравниванием свободной сети стандартными способами (коррелятным, способом узлов, аналитическим способом Попова).

9.2.3.10 В качестве веса  $P$  для каждого превышения должно быть использовано соотношение для числа штативов

$$P(h_{i,j}, n) = \frac{\mu_n \sqrt{2n}}{T\sqrt{k}}, \quad (9.11)$$

или для длины хода

$$P(h_{i,j}, L) = \frac{\mu_L \sqrt{2L}}{T\sqrt{k}}, \quad (9.12)$$

9.2.3.11 После уравнивания одному из реперов присваивают значение скорости вертикальных смещений равное нулю и выполняют вычисление скоростей вертикальных смещений для всех остальных реперов.

9.2.3.12 После окончания этой процедуры определяют скорость вертикальных смещений средней плоскости из условия минимума средней скорости вертикальных смещений  $\min_N \bar{V}_{\text{ср.}}$ , полученной в виде матрицы  $V_n \times V_n^T$  ( $N \times N$  из числа реперов с нулевой диагональю), для каждого ряда с  $N - 1$  значениями скоростей вертикальных смещений, при условии, что каждый  $i$  – ый репер имеет значение скорости равное нулю

$$\min_N \bar{V}_{\text{ср.}} = \frac{1}{N} \sum \frac{(V_{i \neq N} - V_{i \neq N}^T)}{N-1}, \quad (9.13)$$

где  $N$  – число реперов опорной сети;

$V_{i \neq N} - V_{i \neq N}^T$  – кососимметричная матрица ( $N \times N$ ) с нулевой диагональю, образованная перебором скоростей вертикальных смещений при назначении каждого из реперов в качестве исходного с нулевой скоростью.

9.2.3.13 Полученные скорости показываются на карте скоростей вертикальных смещений реперов опорной высотной сети, одновременно являющейся:

- основой для выделения территории, в пределах которой часть реперов будет считаться стабильной;
- оценкой проявления геодинамической активности территории, по результатам которой выполняются расчеты влияния градиента скоростей вертикальных смещений на осадки деформации зданий и сооружений промышленной площадки.

9.2.3.14 Если по результатам оценки устойчивости в пределах территории охваченной высотной опорной сетью значения скоростей смещений  $V_i$  (или смещений  $\Delta H_i$  по циклам измерений) меньше погрешности их определения  $m_V$  ( $m_{\Delta H}$ ) или  $|V_i|$  менее  $m_V$  включительно, то такие опорные сети считаются стабильными.

9.2.3.15 Если часть пунктов и реперов имеет значения  $|V_i|$  более  $> m_V$ , то по оценкам выполняется процедура отбраковки репера или выделения зон путем выделения близких по расположению реперов с близкими значениями скоростей. При этом указанная ранее процедура

оценки устойчивости повторяется.

9.2.3.16 Расчет скоростей вертикальных смещений может выполняться с использованием скоростей изменений превышений (приложение И).

#### **9.2.4 Оценка стабильности исходной опорной высотной сети**

9.2.4.1 Стабильность исходной (опорной) сети оценивается в соответствии с требованиями СП 126.13330.2017 (пункт 9.9) и является обоснованием возможности использования координат или высот геодезического пункта или репера в качестве исходных данных для получения данных о смещениях наблюдаемого объекта.

9.2.4.2 Оценка стабильности исходной (опорной) сети выполняется по результатам оценки устойчивости всей опорной сети с использованием карт вертикальных смещений и их скоростей, выполненных для всей территории охваченной опорной сетью.

9.2.4.3 Оценка стабильности включает в себя уточнение границ территории размещения пунктов и реперов (или перечня пунктов и реперов), у которых смещения  $u_{\Delta}$  или скорость смещений  $V_u$  незначительны или одинаковы, в результате чего изменения превышений, расстояний и углов между ними в циклах повторных измерений остаются в пределах погрешности их измерений.

9.2.4.4 Процедура, по которой выполняется оценка стабильности центров и реперов заключается:

- в поэтапном переборе всех вариантов назначения одного из центров или реперов ( $N = i$ ) в качестве начального (вертикальные и/или горизонтальные смещения или скорость смещений, которого в циклах измерений равны нулю) с подсчетом для каждого из  $N - 1$  вариантов смещений и сравнении каждого из  $N - 1$  вариантов смещения с допустимой погрешностью измерения;
- определении среднего смещения в цикле или средней скорости смещений всех знаков по циклам измерений и оценке значимости полученного среднего по модулю минимального уклонения;
- отбраковке (при необходимости) части центров или пунктов, получивших смещения в цикле или скорости смещений, превышающие погрешность их определения;
- определении границ территорий, в пределах которых смещения  $u_{\Delta}$  или скорость смещений  $V_u$  незначительны, и территория может считаться стабильной.

9.2.4.5 Если в процессе оценки устойчивости критерий стабильности превышен, то такой репер отбраковывается из дальнейших расчетов, а расчет выполняется заново. Такая процедура выполняется до тех пор, пока оставшиеся реперы не окажутся устойчивыми.

9.2.4.6 Отбракованные реперы анализируются по положению относительно всех реперов

сети, при этом:

- если отбракованные реперы размещаются компактно, образуя некоторую зону, то в этом случае такие реперы объединяются в отдельную сеть и анализируются отдельно в границах этой зоны, считая выделенную при отбраковке неустойчивость проявлением природно-техногенных геомеханических свойств этой зоны;

- если отбракованные реперы разбросаны случайным образом по территории охватываемой опорной сетью, то такие реперы исключаются из числа устойчивых и не могут быть использованы в качестве исходных.

9.2.4.7 При оценке стабильности следует учитывать глубины заложения реперов, и близость их расположения к наблюдаемому объекту и глубину заложения фундамента. При этом исходный репер должен быть заложен вне зоны мульды просадки сооружения, а глубина должна быть ниже глубины деформируемых слоев с соблюдением требований, указанных в 9.1.

### **9.2.5 Оценка устойчивости и стабильности опорной плановой сети**

9.2.5.1 Оценка устойчивости и стабильности опорной плановой сети выполняется также, как и оценка высотной сети. При этом входными данными для анализа служат горизонтальные проложения и направления (дирекционные углы), рассчитываемые от условного среднего центра плановой сети.

9.2.5.2 Координаты условного среднего центра плановой сети определяются как среднее из координат всей сети.

9.2.5.3 Расчет горизонтальных проложений и дирекционных углов осуществляется путем решения обратной задачи на координаты.

9.2.5.4 По полученным уклонам от первоначального положения в начальном цикле измерений строятся векторные карты горизонтальных смещений центров и также определяются градиенты горизонтальных смещений.

9.2.5.5 Для оценки стабильности территории выбираются градиенты горизонтальных смещений и их скоростей равные по величине вектора и его направлению в пределах погрешности их определения.

## **9.3 Расчет параметров деформаций**

### **9.3.1 Общие положения**

9.3.1.1 Целью анализа результатов наблюдений деформаций является оценка фактического состояния сооружения по контролируемым деформационным параметрам и прогноз их развития.

9.3.1.2 Анализ и прогнозирование полученных результатов совместно с результатами других видов проводимого мониторинга и обследований выполняются генеральным проектировщиком с привлечением специалистов, отвечающих за строительство и эксплуатацию

наблюдаемых зданий и сооружений.

9.3.1.3 В ходе анализа результатов наблюдения за высотными и плановыми смещениями объектов наблюдения по ГОСТ Р 58946, СП 20.13330, СП 22.13330, СП 70.13330 при необходимости генеральный проектировщик проводит:

- дополнительные расчеты, показывающие связь изменения величин высотных деформаций с действующими постоянными и временными нагрузками на основание сооружения, характер деформационного процесса при постоянной нагрузке (рост или стабилизация);
- оценку распределения высотных деформаций фундамента в продольном и поперечном направлениях, выявление связи неравномерности высотных деформаций с инженерно-геологическими условиями основания;
- сопоставление измеренной высотной деформации с расчетной;
- оценку величины и распределения абсолютных горизонтальных смещений, изменения их во времени, связи с действующими постоянными и временными нагрузками;
- оценку относительных горизонтальных смещений, их распределение по наблюдаемому участку, зависимость от уровня грунтовых вод, снежной нагрузки, температуры и других факторов;
- оценку взаимных смещений основания, подземной и надземной частей зданий и сооружений;
- расчетный анализ измеренных смещений (определение их упругой, температурной и необратимой составляющих) с помощью регрессионных и математических моделей;
- сопоставление измеренных горизонтальных смещений с расчетными величинами; прогнозирование горизонтальных смещений на последующий период эксплуатации;
- определение «активной» зоны основания.

9.3.1.4 Основой анализа данных геодезического мониторинга являются методы, используемые в анализе временных рядов по ГОСТ Р ИСО/ТО 10017–2005 (пункт 4.13).

9.3.1.5 Основной целью анализа данных геодезического мониторинга является определение устойчивых изменений параметров деформаций объекта.

9.3.1.6 Устойчивость параметров деформаций характеризуется:

- при отсутствии деформационных процессов – постоянством значений наблюдаемого параметра;
- при равномерном протекании деформационного процесса – постоянной скоростью накопления параметра деформации;
- при неравномерном протекании процесса – постоянством приращения скорости накопления (ускорение или затухание) наблюдаемого параметра.

9.3.1.7 Устойчивые изменения параметров деформаций определяются в пределах



диапазона погрешностей геодезических измерений (рекомендуется использовать СКП определения удаленной марки).

### 9.3.2 Основные параметры деформаций

9.3.2.1 В соответствии с СП 22.13330 основными параметрами являются:

- для вертикальных деформаций:

- а) средняя осадка  $s_u$  и относительный крен  $i$ ;
- б) максимальная осадка  $s_u^{max}$  и относительная разность осадки  $(\Delta S/L)_u$ ;
- в) относительные прогибы/выгибы  $f/L$  и кривизны  $\Delta\varphi$ ;

- для горизонтальных деформаций:

- а) абсолютные и относительные горизонтальные смещения  $\Delta L$  и  $\Delta L/L$ ;
- б) горизонтальные прогибы  $f/L$ , кручения  $\Delta\varphi$ , раскрытия трещин, швов, изменения форм поверхностей;
- в) горизонтальные перемещения фундамента  $u_h$ .

9.3.2.2 После каждого цикла измерений должен проводиться анализ полученных результатов измерений для сравнения их с предельно допустимыми деформациями строительных конструкций зданий и сооружений. В случае приближения измеренных деформаций к критическим, исполнитель немедленно сообщает об этом заказчику или его уполномоченному представителю и генеральному проектировщику в письменном виде или по электронной почте с приложением материалов измерений.

9.3.2.3 При проведении расчета и анализа контролируемых параметров деформаций следует разделять даты начала наблюдений (при котором получены первые высоты или координаты деформационных марок) и даты исходного цикла, принимаемые для расчета параметров деформаций.

### 9.3.3 Требования к параметрам деформаций

9.3.3.1 Ряды данных должны быть одновременными для каждого отдельного наблюдаемого объекта.

9.3.3.2 Исходная дата для расчета параметров деформаций должна быть одинаковой. При этом для использования реперов и марок, заложенных позднее, могут быть использованы приведенные значения.

9.3.3.3 Ряды данных, используемых при расчете параметров деформаций, должны быть сопоставимы. То есть при прямых расчетах их количество по циклам измерений должно быть равным или компенсировано статическими средствами (например, использованием карт и схем с изолиниями равных смещений).

9.3.3.4 Параметры деформаций при совместном анализе по циклам измерений должны определяться с использованием одинаковых алгоритмов расчета, принятых в зависимости от

конфигурации наблюдаемого объекта и расположения деформационных марок на нем.

9.3.3.5 Полученные параметры деформаций должны быть сопоставимы с контролируемыми параметрами – расчетными (проектными) и предельными (предельно-допустимыми).

9.3.3.6 Если имеются контролируемые параметры деформаций (например, определенные проектными органами на период строительства), которые не могут быть определены натурно, так как натурных измерений еще не производилось, то выполняются расчеты:

- с использованием материалов исполнительных съемок для определения положения деталей и конструкций, опознаваемых и координируемых на настоящий момент относительно сохранившихся пунктов опорной сети;

- с использованием моделей, используемых при проектных расчетах, определяемых по нагрузкам на период строительства и в настоящий момент.

9.3.3.7 При отсутствии исходных данных основным контролируемым параметром является скорость изменения деформаций. При этом скорость протекания параметров деформаций должна быть определена на весь период имеющихся наблюдений по всем значениям с использованием интервальных и последовательных оценок в диапазоне СКП определения смещения в удаленной точке на каждый промежуток времени.

9.3.3.8 Статическое прогнозирование параметров деформаций предусмотрено для неизменных статических и динамических нагрузок и в условиях неизменного природно-техногенного воздействия на наблюдаемый объект и должно выполняться с использованием всех имеющихся данных на период во времени от 20 % до 25 % от времени наблюдения данного параметра по специально подготовленным для прогнозирования данным.

9.3.3.9 Данные об оценках параметров деформаций и прогнозные расчеты должны быть оценены специалистами проектного блока (генерального проектировщика).

9.3.3.10 Рассчитанные по результатам геодезических измерений наблюдаемые параметры деформаций должны сравниваться с критериальными параметрами деформаций, приведенными в ТЗ или ПГМ.

## **9.4 Расчет скоростей параметров деформации**

### **9.4.1 Общая схема расчета скорости**

9.4.1.1 Расчет графика изменения скорости временного ряда величин (координат, приращений координат, горизонтальных смещений, высот, вертикальных смещений, параметров деформаций)  $u_k$ , определенных на момент времени  $t_k$ , выполняется при помощи процедуры линейной аппроксимации<sup>1)</sup> с последовательным перебором количества данных путем

---

<sup>1)</sup> Процедура линейной (и более высоких порядков) аппроксимации является встроенной

прибавления к выбранным  $k$  элементам  $k + 1$  элемента.

9.4.1.2 Расчет должен выполняться с соблюдением следующих условий:

- минимальное число членов аппроксимируемого ряда не должно быть менее  $k = 3$ ;
- дисперсия уклонения  $\sigma_{\Delta}$  известных данных  $(u_k, t_k)$  от полученной модели  $(\bar{u}_k, t_k)$  не должна превышать предельной погрешности  $M_{\Delta}$  определения измеренных данных;
- вес  $p$  измеренных данных должен быть равным или стремиться к равному.

9.4.1.3 Количество членов временного ряда  $k$  выбранных для аппроксимации  $(u_k, t_k)$  определяется исходя из превышения или не превышения предельной погрешности  $M_{\Delta}$  дисперсией уклонения  $\sigma_{\Delta}$

$$\sqrt{\frac{\sum_{k-n}^k (u_k - \bar{u}(t_k))^2}{n-1}} = \sigma_{\Delta} \leq M_{\Delta} = \frac{\Delta}{2tp}, \quad (9.14)$$

9.4.1.4 Если для  $k$  элементов  $\sigma_{\Delta,k}$  менее  $M_{\Delta}$  включительно, то к временному ряду добавляется еще один последовательный  $k + 1$  элемент. При этом, если  $\sigma_{\Delta,k+1}$  более  $M_{\Delta}$ , то ранее полученной скорости  $V$  для  $k$  элементов ряда из модели  $\bar{u}_t = u_0 + Vt$  присваивается соответствующий диапазон или диапазон аппроксимации  $\Delta_{t,k}$ .

9.4.1.5 Расчет скорости рекомендуется выполнять в обратном порядке начиная с последних членов ряда.

#### 9.4.2 Кусочно-линейный и пошаговый способ расчета скорости

9.4.2.1 Существуют кусочно-линейный и пошаговый способы расчета скорости, имеющие различное назначение и отличающиеся выбором диапазона для аппроксимации:

- при кусочно-линейном способе расчета скорости оценка скорости  $V$  присваивается диапазону данных  $\Delta_{t,k}$  на дату  $t_k$ -го элемента, при этом указанный ряд данных более не используется, а последующие вычисления касаются оставшихся данных;

- при пошаговом способе расчета скоростей оценка скорости  $V$  присваивается диапазону элементов  $\Delta_{t,k}$ , последующие вычисления выполняются со сдвижением на один шаг вправо или влево, а полученное новое значение скорости  $V$  присваивается на дату  $t_{k+1}$ -го элемента.

9.4.2.2 Кусочно-линейный способ предназначен для строго указанного диапазона аппроксимации. В практике должен быть использован для отчетной информации.

9.4.2.3 При использовании пошагового способа расчета скорости диапазон аппроксимации  $\Delta_{t,k}$  может быть плавающим (или непостоянным) за счет добавляемых элементов

---

функцией для любого табличного процессора с расчетом и выводом значений неизвестных коэффициентов на основе решения систем уравнений с использованием метода наименьших квадратов.

по результатам последних измерений. Пошаговый расчет скорости должен использоваться при прогнозировании скорости.

9.4.2.4 Пошаговый и кусочно-линейный расчеты скорости могут выполняться для одномерных рядов, содержащих значение  $u_k$  и дату измерений  $t_k$ . К таким данным относятся средняя осадка или относительный крен.

## 9.5 Расчет средней осадки и относительного крена

### 9.5.1 Оценка равномерности/неравномерности осадки

9.5.1.1 По проявлению осадка наблюдаемого объекта может быть равномерной и неравномерной. При равномерной осадке все деформационные марки должны испытывать одинаковые по величине и направлению вертикальные смещения, при неравномерной – вызывая крены, прогибы.

9.5.1.2 Равномерной осадкой считаются одинаково распределенные всей плоскости подошвы фундамента (сооружения) и равные по величине вертикальные смещения в диапазоне точности их измерения  $\Delta_s$ .

9.5.1.3 Предельно допустимое уклонение абсолютной осадки от критерия равномерности, определенное по расчетному значению осадки или классу точности измерений численно равно предельной погрешности ее определения  $M_{\Delta_s}$ .

9.5.1.4 В качестве ориентировочного критерия для оценки равномерности/неравномерности осадки  $K_{\text{равн.}}$  по предельному относительному крену для фундамента может быть использовано выражение

$$K_{\text{равн.}} < \frac{i_{\text{пред.}}}{T_{\text{срок службы}}} l_{\text{min}}, \quad (9.15)$$

где  $i_{\text{пред.}}$  – предельный крен, установленный для данного фундамента, мм/м или безразмерно;

$T_{\text{срок службы}}$  – предельный срок службы объекта, годы;

$l_{\text{min}}$  – минимальный размер объекта по длине, ширине или иному линейному элементу фундамента, м.

Значение критерия  $K_{\text{равн.}}$  численно равно диапазону разностей вертикальных смещений между годовыми циклами повторных измерений (мм/м в год), в пределах которых вертикальные смещения могут считаться равномерными.

9.5.1.5 Параметр «средняя осадка» должен отражать степень равномерности распределения нагрузки по всей подошве фундамента и, как следствие, равномерность сжатия грунтов основания фундаментов.

Если разность между абсолютной осадкой  $s_i$  и средней осадкой  $\bar{s}$  больше чем критерий

равномерности  $s_i - \bar{s} > \Delta_s \approx K_{\text{равн.}}$ , то осадка считается неравномерной, определяются причины (просадки, оседания, провалы грунтового основания) и следствия неравномерности, оцениваются крены фундамента или относительные разности осадки строительных конструкций и технологического оборудования.

9.5.1.6 При оценке равномерности/неравномерности осадки, для всех установленных<sup>1)</sup> типов фундаментов сеть деформационных марок должна быть достаточной для определения средней осадки, то есть:

- размещаться по периметру фундамента, в том числе для прямоугольных – с размещением марок на основных поворотных точках фундамента; для криволинейных – с размещением деформационных знаков в начале кривой, середине кривой, конце кривой; в более сложных случаях – в точках начала кривой, середины кривой, конце кривой и в особых точках – точках перегиба;

- для дальнейшей возможной оценки относительного крена прямоугольных, круглых и полукруглых фундаментов сеть деформационных марок должна быть близка к осевой и/или радиальной симметрии, быть симметричной относительно геометрического центра фундамента;

- должно учитываться место приложения внецентренной нагрузки.

9.5.1.7 Расчет геометрического центра сети деформационных марок определяется по формулам:

$$X_{\text{гц,деф.сети}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i, Y_{\text{гц,деф.сети}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} y_i, \quad (9.16)$$

где  $X_{\text{гц,деф.сети}}$  и  $Y_{\text{гц,деф.сети}}$  – координаты геометрического центра деформационной сети, м;

$x_i$  и  $y_i$  – координаты деформационных марок с номером  $i$ , м.

Значение координаты геометрического центра деформационной сети определяется с точностью до 0,1 м.

9.5.1.8 Критерием к оценке симметричности размещения деформационных марок является уклонение геометрического центра деформационной сети от геометрического центра фундамента  $\Delta_{\text{гц}}$

---

<sup>1)</sup> Значение предельной средней осадки основания фундаментов применяются к сооружениям, возводимым на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты) по СП 22.13330.2016 (примечание 2 приложения Г).

$$\Delta_{\text{гц}} = \sqrt{(X_{\text{гц,мар}} - X_{\text{гц,ф}})^2 + (Y_{\text{гц,мар}} - Y_{\text{гц,ф}})^2}, \quad (9.17)$$

где  $X_{\text{гц,мар}}$  и  $Y_{\text{гц,мар}}$  – координаты геометрического центра деформационных марок, м;

$X_{\text{гц,ф}}$  и  $Y_{\text{гц,ф}}$  – координаты геометрического центра фундамента, м.

Если  $\Delta_{\text{гц}} \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$  менее 1 м, то размещение деформационных марок симметрично относительно фундамента и, соответственно, расчет может выполняться с использованием среднего арифметического.

9.5.1.9 Если сеть деформационных марок несимметрична, а само сооружение испытывает неравномерную осадку (крен, просадку отдельных элементов), значение средней осадки может быть определено недостоверно. При этом для компенсации несимметричности размещения деформационных марок деформационная сеть может быть отбракована до симметричной, или применен метод расчета средней осадки, учитывающий крен как показано в 9.2.3.

9.5.1.10 Геометрический центр сети деформационных марок должен оставаться постоянным на весь период наблюдений.

Если в процессе повторных измерений размещение или конфигурация сети деформационных марок будут изменены, то меняется геометрический центр всей деформационной сети.

9.5.1.11 Алгоритм расчета средней осадки может определяться в зависимости от параметров конфигурации деформационной сети и их изменений:

- по поверхности (плоскости) вертикальных смещений;
- методом среднего арифметического.

9.5.1.12 Определение средней осадки методом среднего арифметического является частным случаем оценки средней осадки по плоскости (поверхности) вертикальных смещений с использованием геометрического центра фундамента.

## 9.5.2 Расчет средней осадки по среднему арифметическому

9.5.2.1 Расчет средней осадки с использованием среднего арифметического по вертикальным смещениям деформационных марок позволяет получить среднее вертикальное смещение сети деформационных марок и не позволяет получить среднюю осадку наблюдаемого объекта.

9.5.2.2 Средняя осадка  $\bar{s}$  может быть определена как среднее арифметическое для случая, когда осадка фундамента равномерна, если:

- грунты основания не имеют неравномерностей напластования и неравномерности сжимаемости, а само сооружение испытывает только равномерные осадки;

- фундаменты не имеют внецентренных нагрузок, а сам наблюдаемый объект не испытывает крен;

- сеть деформационных марок остается неизменной в процессе всех циклов повторных наблюдений и является достаточной для определения средней осадки.

9.5.2.3 С учетом условий 9.5.2.2 средняя осадка  $\bar{s}$  может быть равна среднему вертикальному смещению деформационных марок  $\Delta H_{\text{ср.}}$  и рассчитывается по формуле

$$\Delta H_{\text{ср.}} = \bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta H_i, \quad (9.18)$$

где  $s_i$  – осадка деформационной марки с номером  $i$ ;

$\Delta H_i$  – вертикальное смещение деформационной марки с номером  $i$ ;

$n$  – количество деформационных марок на фундаменте (сооружении).

9.5.2.4 Контролем достоверности средней осадки, полученной из среднего арифметического, является значение вертикального смещения геометрического центра деформационных марок на плоскости (поверхности) вертикальных смещений.

Здесь под поверхностью (плоскостью) вертикальных смещений понимается поверхность, отображенная изолиниями равных вертикальных смещений (равной осадки), построенная по координатам деформационных марок. Пример поверхности вертикальных смещений приведен в приложении А.

9.5.2.5 Значение средней осадки  $\bar{s}$  и среднего вертикального смещения деформационных марок  $\Delta H_{\text{деф.сети}}$ , полученные из интерполяции изолиний поверхности вертикальных смещений в точке координатами  $X_{\text{деф.сети}}$  и  $Y_{\text{деф.сети}}$  должны быть равны или различаться в пределах точности интерполирования изолиний.

9.5.2.6 Если значения вертикальных смещений  $\Delta H_i$

$$\Delta H_i = (H_k - H_{k-1}) > K_{\text{равн.}},$$

где  $K_{\text{равн.}}$  - ориентировочный критерий для оценки равномерности/неравномерности осадки по 9.5.1.4, то средняя осадка должна определяться с учетом крена фундамента.

### 9.5.3 Определение средней осадки с учетом крена сооружения

9.5.3.1 Расчет средней осадки с учетом крена фундамента с использованием уравнения плоскости вертикальных смещений выполняется, если:

- грунты основания имеют неравномерности напластования и неравномерности сжимаемости;

- фундаменты могут иметь центральные и внецентренные нагрузки;

- конфигурация сети деформационных марок изменялась в период строительства за счет уничтожения и перезакладки, дозаложения марок при развитии сети;

- сеть деформационных марок размещена неравномерно и несимметрично относительно геометрического центра фундамента, что при вычислении крена фундамента не позволяет использовать среднюю арифметическую оценки осадки.

9.5.3.2 Определение средней осадки при крене фундамента (сооружения) должно выполняться покомпонентно, с учетом того, что смещение  $\Delta H_i$  включает в себя компоненту осадки  $\Delta H_{i,oc}$  и компоненту крена  $\Delta H_{i,кр}$ .

$$\Delta H_i = \Delta H_{i,oc} + \Delta H_{i,кр}, \quad (9.19)$$

Компоненты выражения могут быть как отдельными (рисунок 9.1а, б), так и совместными (рисунок 9.1в, г).



Рисунок 9.1 – Схема влияния осадки (подъема) и крена на положение линии разреза в плоскости вертикальных смещений при а – при равномерной осадке  $\Delta H_{i,кр} = 0$ ; б – при крене  $\Delta H_{i,ос} = 0$ ; в – при неравномерной осадке  $\Delta H_{i,кр} \neq 0$  и  $\Delta H_{i,ос} \neq 0$ ; г – при неравномерном подъеме  $\Delta H_{i,кр} \neq 0$  и  $\Delta H_{i,ос} \neq 0$

9.5.3.3 Определение средней осадки по плоскости вертикальных смещений  $\Delta H(x_{гц}, y_{гц})$  выполняется путем подстановки координат геометрического центра фундамента в уравнение плоскости

$$\Delta H(x_{гц}, y_{гц}) = \Delta H_0 + k_x x_{гц} + k_y y_{гц}, \quad (9.20)$$

где  $x_{гц}$  и  $y_{гц}$  – координаты точек плоскости (деформационных марок).

Математический расчет геометрического центра монолитного фундамента и



коэффициентов уравнения плоскости вертикальных смещений подробно представлен в приложении К (К.1, К.2).

9.5.3.4 Если все члены уравнения  $H(x, y) = \Delta H_0 + k_x x_i + k_y y_i$  известны, то средняя осадка сооружения  $\bar{s}$  может быть определена по формуле

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=n} (\Delta H_i - (\Delta H_0 + k_x x_i + k_y y_i)), \quad (9.21)$$

где  $i$  – номер деформационной марки;

$N$  – число деформационных марок, размещенных на фундаменте.

9.5.3.5 При равномерной осадке, то есть  $k_x = 0$  и  $k_y = 0$ , уравнение (9.18) преобразуется в среднее арифметическое, ранее рассмотренное в 9.5.2.3.

$$\bar{s} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta H_i, \quad (9.22)$$

9.5.3.6 Расчет крена фундамента (сооружения) может быть выполнен двумя способами и зависит от необходимой точности измерений:

- по вертикальным смещениям  $\Delta H_i$  – с использованием коэффициентов уравнения плоскости (см. 9.5.3.8) с погрешностью за устойчивость исходного репера;

- по изменениям превышениям  $\delta h_{i,j}$  – без привязки к исходному реперу.

9.5.3.7 Расчет относительного крена по изменениям (разностям) превышений выполняется от любой из точек принятой за исходную.

9.5.3.8 Компонента  $\Delta H(x, y)$ , определяющая относительный крен  $i$  сооружения, может быть определена из параметров плоскости вертикальных смещений

$$\Delta H(x, y) = \Delta H_0 + k_x x + k_y y, \quad (9.23)$$

где  $\Delta H_0$ ,  $k_x$  и  $k_y$  – коэффициенты уравнения плоскости;

$x$  и  $y$  – координаты точек плоскости (деформационных марок).

При этом следует учитывать, что плоскость вертикальных смещений фундамента ограничена размерами этого фундамента, а коэффициенты уравнения плоскости  $k_x$  и  $k_y$  являются значениями компонентами относительного крена в осях  $x$  и  $y$ .

9.5.3.9 Относительный крен  $i$  рассчитывается по формуле

$$i = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}. \quad (9.24)$$

Направление крена фундамента сооружения определяется составляющими вектора

наклонной плоскости  $k_x$  и  $k_y$ . Табличный угол  $r$ , характеризующий направление крена от 0 до  $90^\circ$ , определяется из выражения

$$r = \operatorname{arctg} \left| \frac{k_y}{k_x} \right|. \quad (9.25)$$

9.5.3.10 Направление крена фундамента  $\alpha$  (азимут) в пределах от 0 до  $360^\circ$  относительно принятой системы координат ( $X, Y$ ) определяется знаками составляющих вектора наклонной плоскости  $k_x$  и  $k_y$  (таблица 9.1).

Т а б л и ц а 9.1 – Соотношения табличных узлов с азимутами

Значение направления крена (азимут) $\alpha$	Связь табличных углов ( $r$ ) с азимутами ( $\alpha$ )	Знаки составляющих вектора наклонной плоскости	
		$k_x$	$k_y$
$0^\circ - 0^\circ$	$\alpha = r$	–	–
$90^\circ - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ - r$	+	–
$180^\circ - 270^\circ$	$\alpha = 180^\circ + r$	+	+
$270^\circ - 360^\circ$	$\alpha = 360^\circ - r$	–	+

9.5.3.11 Направление крена является объективным показателем процесса стабилизации осадки и деформаций. При стабилизации осадки и деформаций направление крена также стабильно и неизменно в пределах точности его определения. Погрешность определения крена зависит от многих факторов, в том числе от геометрии сети деформационных марок. В практике СКП определения направления крена составляет от минус  $5^\circ$  до плюс  $5^\circ$ .

9.5.3.12 Учет влияния внецентренной нагрузки при расчете средней осадки и относительного крена должно сопровождаться специально заложенной сетью деформационных марок, местоположение которых должно быть симметричным относительно места приложения этой нагрузки.

В практике внецентренная нагрузка может сопровождаться проявлениями прогибов/выгибов, местоположение и скорость распространения которых определяется при помощи геодезических измерений.

9.5.3.13 Определение средней осадки с учетом внецентренной нагрузки должна выполняться по разности точек поверхности вертикальных смещений  $F(x_i, y_i, \Delta H_i)$  и плоскости вертикальных смещений  $\bar{F}(x_i, y_i, \bar{\Delta H}_i)$  как компоненты крена:

$$\Delta(x_i, y_i) = F(x_i, y_i, \Delta H_i) - \bar{F}(x_i, y_i, \bar{\Delta H}_i) = \Delta H_i - (\Delta H_0 + k_x x_i + k_y y_i), \quad (9.26)$$

где  $F(x_i, y_i, \Delta H_i)$  и  $\bar{F}(x_i, y_i, \bar{\Delta H}_i)$  – соответственно, поля точек поверхности и плоскости вертикальных смещений;

$\Delta(x_i, y_i)$  – остатки после удаления линейного тренда – поля точек плоскости вертикальных смещений  $\bar{F}(x_i, y_i, \bar{\Delta H}_i)$  из поля точек поверхности вертикальных смещений  $F(x_i, y_i, \Delta H_i)$ .

Результатом определения средней осадки должны быть карты или планы с изолиниями остатков.

9.5.3.14 В отдельных случаях для оценки средней осадки при внецентренной нагрузке могут быть использованы зоны симметрии относительно места приложения нагрузки, в пределах которых и проводятся расчеты средней осадки.

К расчетам принимаются деформационные марки, находящиеся в пределах зон с симметричной нагрузкой.

9.5.3.15 В соответствии с СП 22.13330 значения предельной средней осадки основания фундаментов  $\bar{S}_u$  должны рассчитываться для сооружений, возводимых на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты).

## 9.6 Расчет максимальной осадки и относительной разности осадки

### 9.6.1 Общие положения

9.6.1.1 Максимальная осадка и относительная разность осадки являются параметрами деформаций с фиксируемым местоположением при помощи координат на наблюдаемом объекте, при этом:

- максимальная осадка  $S_u^{max}$  определяется или для отдельных точек (сторон, частей, конструкций) фундамента, относительно значений, определенных генеральным проектировщиком, или относительно осадки геодезических знаков (марок) объекта, при этом количество анализируемых знаков в каждом цикле должно быть одинаковым;

- относительная разность осадки определяется для сопряженных строительных конструкций и частей технологического оборудования.

9.6.1.2 Значение предельной максимальной осадки основания фундаментов  $S_u^{max}$  должно рассчитываться для сооружений, возводимых на отдельно стоящих фундаментах на естественном (искусственном) основании или на свайных фундаментах с отдельно стоящими ростверками (ленточные, столбчатые).

### 9.6.2 Максимальная осадка (подъем)

9.6.2.1 Максимальная осадка может определяться или относительно установленного

генеральным проектировщиком уровня (например, уровня чистого пола на момент строительства или ввода в эксплуатацию), или относительно минимальной осадки ( $\Delta H_{i,min}$ ), или относительно средней осадки.

При оценке максимального подъема, расчеты и построения, связанные с определением максимальной осадки, аналогичны, но обратны по знаку вертикальным смещениям.

9.6.2.2 Для иллюстрации местоположения максимальной осадки должны быть использованы графики изолиний суммарных вертикальных смещений. Сечение изолиний суммарных вертикальных смещений в зависимости от величины вертикальных смещений рекомендуется назначать 0,5мм; 1мм; 2мм; 5мм; 10 мм.

9.6.2.3 Если максимальная осадка носит не постоянный характер, то вместе с графиком изолиний суммарных смещений строится график изолиний скоростей вертикальных смещений, по которым определяют скорость планового распространения максимальной осадки.

9.6.2.4 Скорость планового распространения максимальной осадки определяется по изменению местоположения одноименных изолиний вертикальных смещений в циклах измерений. Сечение изолиний скоростей вертикальных смещений в зависимости от величины вертикальных смещений рекомендуется назначать 0,1 мм/год; 0,2 мм/год; 0,5 мм/год; 1,0 мм/год.

На графике изолиний скоростей вертикальных смещений должны быть построены векторы (в виде стрелок с масштабированной длиной), указывающие на направление развития.

### 9.6.3 Максимальная относительная разность осадки

9.6.3.1 Относительная разность осадки  $(\Delta S/L)_u$  может определяться как по изменениям превышений, так и по разностям вертикальных смещений. Расстояния  $L$  между знаками (марками) определяются по их координатам, непосредственным измерением расстояния, при необходимости используются креномеры и приборы подобные им.

9.6.3.2 Расчет относительной разности осадки может быть выполнен для марок с индексами  $i$  и  $j$  для измерений, выполненных в  $k$ -ом и  $t$ -ом циклах повторных измерений по следующим формулам

$$\text{- по высотам марок } (\Delta S/L)_u = [(H_{j,t+k} - H_{j,t}) - (H_{i,t+k} - H_{i,t})] / L_{i,j} \quad (9.27)$$

$$\text{- по вертикальным смещениям } (\Delta S/L)_u = (\Delta H_{j,t+k,t} - \Delta H_{i,t+k,t}) / L_{i,j} \quad (9.28)$$

$$\text{- по разности превышений } (\Delta S/L)_u = (h_{j,i,t+k} - h_{j,i,t}) / L_{i,j} \quad (9.29)$$

$$\text{- по скорости вертикальных смещений } (\Delta S/L)_u = \Delta T_{t,k}(v_j - v_i) / L_{i,j} \quad (9.30)$$

$$\text{- по скорости изменения превышения } (\Delta S/L)_u = \Delta T_{t,k}v_{i,j} / L_{i,j} \quad (9.31)$$

$$\text{- по разности углов наклона } (\Delta S/L)_u = tg \gamma_{j,i,t} - tg \gamma_{j,i,k} \quad (9.32)$$

9.6.3.3 Для оценки распространения относительной разности осадок используется

абсолютная величина,  $|\Delta S/L|$ , которой присваиваются средние координаты пары точек, между которыми была определена относительная разность осадки.

По полученным данным строится график изолиний неравномерной осадки по всему объекту.

9.6.3.4 Для оценки скорости распространения определяется площадь, охватываемая неравномерными осадками по каждому циклу измерений, и рассчитывается скорость ее приращения,  $\text{см}^2/\text{год}$ . В отдельных случаях, при необходимости, расчеты можно проводить в процентном соотношении к площади объекта,  $\%/ \text{год}$ .

9.6.3.5 Расчет относительной разности осадки должен выполняться только для сопряженных строительных конструкций (элементов технологического оборудования). Расчет относительной разности осадки несопряженных строительных конструкций не допускается.

9.6.3.6 Для каркасных сооружений относительная разность осадки определяется между соседними, сопряженными ригелями, колоннами – по осям (в продольном направлении) и по рядам (в поперечном направлении), если колонны по рядам сопряжены между собой перекрытиями (ригелями, несущими балками, фермами).

## **9.7 Расчет относительного прогиба/ выгиба**

9.7.1 Для открытых строительных конструкций (для измерений) расчет относительного прогиба или выгиба выполняется по величинам трех вертикальных смещений, расположенных по краям и в центре анализируемой конструкции (формулы для определения приведены в приложении Б).

9.7.2 Для определения прогибов или выгибов закрытых конструкций (оси валопроводов турбоагрегатов, прогибы фундаментных плит), в пределах которых непосредственные измерения прогибов или выгибов невозможны, расчет кренов и прогибов/выгибов выполняется при помощи построения профилей по картам и графикам изолиний суммарных смещений.

9.7.3 Расчет прогиба/выгиба монолитной строительной конструкции должен осуществляться с использованием достаточного количества деформационных марок.

9.7.4 Не допускается расчет прогиба/выгиба по положению изолиний вертикальных смещений, если деформационные марки в направлении прогиба/выгиба не заложены.

9.7.5 Минимальное количество деформационных марок для определения прогиба/выгиба должен быть не менее трех.

9.7.6 Расчет прогиба/выгиба по несопряженным строительным конструкциям не допускаются.

9.7.7 Предельные значения относительного прогиба для бескаркасных зданий по СП 22.13330.2016 (приложение Г, пункт 3 таблицы) должны рассчитываться равными  $0,5(\Delta_S/L)_u$ , а относительного выгиба –  $0,25(\Delta_S/L)_u$ .

## 9.8 Расчет относительной кривизны кривой

9.8.1 Относительная кривизна кривой (относительная кривизна поверхности) определяется аналогично относительной разности осадки, но при этом учитывается не длина прямой линии, а длина кривой, а при определении поверхности – длина криволинейной поверхности по заданному направлению.

9.8.2 Рекомендуется рассчитывать относительную кривизну кривой заменяя анализируемую кривую длины  $L_{кр.}$  равной ей прямой с длиной  $L_{пр.}$

При расчете кривизны поверхности с кривыми  $L_{X,кр.}$  и  $L_{Y,кр.}$  в направлении осей  $X$  и  $Y$ , их заменяют равными им прямыми с длинами  $L_{X,пр.}$  и  $L_{Y,пр.}$

## 9.9 Расчет горизонтальных смещений

9.9.1 Горизонтальные смещения характеризуются двумя показателями деформаций – абсолютным и относительным растяжением и/или сжатием и горизонтальным смещением и углом кручения.

9.9.2 Абсолютное растяжение/сжатие определяется как разность  $\Delta R = R_i - R_0$  между наблюдаемым и первоначальным горизонтальным проложением. Относительное растяжение/сжатие определяется как отношение  $R_i/R_0$  наблюдаемого горизонтального проложения к первоначально измеренному.

9.9.3 Кручение определяется относительно геометрического центра наблюдаемого объекта и равно среднему из  $n$  углов  $\frac{1}{n} \sum \theta$  между измеренным и первоначальным направлениями

9.9.4 Горизонтальное смещение и угол кручения рекомендуется определять по 8.2.

## 9.10 Расчет параметров деформаций с учетом влияния современных движений земной поверхности объектов наблюдений

### 9.10.1 Общие положения

9.10.1.1 Влияние СДЗП на территории площадки объекта наблюдения должно быть определено в соответствии с требованиями [2] (пункт 3.7).

9.10.1.2 Учет СДЗП производится для лицензированных площадок, строящихся и эксплуатируемых объектов наблюдения, размещение которых выполнено с учетом тектонической активности территории размещения и отсутствия активных разломов в соответствии с требованиями [11] по результатам геодезических наблюдений на локальных ГДП с геодезическими знаками, размещенными в соответствии с требованиями [12].

9.10.1.3 Учет влияния СДЗП на осадки и крены инженерных сооружений применим для декомпозиции общего относительного крена фундаментов, включающего влияние грунтов основания фундамента и влияние СДЗП территории промплощадки.

9.10.1.4 Общим требованием декомпозиции общего относительного крена фундаментов

на оценки влияния грунтов основания фундамента и влияния СДЗП территории промплощадки является условие использования координат опорной сети и сети деформационных марок в единой системе координат.

### 9.10.2 Декомпозиция составляющих общего относительного крена фундамента

9.10.2.1 В соответствии с 9.5, оценка относительного крена фундамента при помощи высокоточного нивелирования носит независимый характер от природы его проявления. Общий относительный крен оценивается по значению крена  $i_{\text{общ}}$  и его направлению  $\vartheta_{\text{общ}}$  для фундамента, ограниченного его размерами и конфигурацией относительно исходного для расчетов цикла измерений.

9.10.2.2 Для оценки влияния СДЗП на крен фундаментов рекомендуется использовать параметры, характеризующие скорость  $V_{i \text{ общ}}$  и направление  $\vartheta_{i \text{ общ}}$  накопления относительного крена фундамента ( $\text{мм/м в год}$ ), являющиеся эквивалентами градиента скоростей вертикальных смещений  $\text{grad } |V_i|$  ( $\text{мм/год на м}$ ) фоновой составляющей территории промплощадки, характеризуемого скалярной величиной  $V_{\text{grad}}$  и направлением  $\vartheta_{\text{grad}}$ , что позволяет выполнить вычитание векторов, а следовательно и декомпозицию общего относительного крена фундамента.

Примечание. При расчете векторной разности можно воспользоваться графическим способом, при котором применяется треугольник с известными сторонами  $V_{i \text{ общ}}$  и  $V_{\text{grad}}$  и углом между ними равным разности  $(\vartheta_{i \text{ общ}} - \vartheta_{\text{grad}})$ .

9.10.2.3 Полученная разность векторов  $\vec{V}_{i \text{ общ}} - \vec{V}_{\text{grad}}$  используется в качестве составляющей общего относительного крена фундамента, обусловленного грунтовыми условиями основания фундамента  $\vec{V}_{\text{грунт}}$ .

9.10.2.4 Численная составляющая скорости накопления крена за счет свойств грунтов может быть получена по теореме косинусов и с учетом свойства четности косинусов может быть определена по формуле:

$$V_{\text{грунт}} = \sqrt{V_{i \text{ общ}}^2 + V_{\text{grad}}^2 - 2V_{i \text{ общ}}V_{\text{grad}}\cos(\vartheta_{i \text{ общ}} - \vartheta_{\text{grad}})}. \quad (9.33)$$

9.10.2.5 Для получения составляющей  $i_{\text{грунт}}$  общего относительного крена фундамента  $i_{\text{общ}}$ , полученную скорость накопления крена  $V_{\text{грунт}}$  необходимо умножить на время  $\Delta T$  прошедшее с начала расчетов общего крена фундамента.

Направление относительного крена  $\vartheta$  может быть определено из графических построений.

9.10.2.6 Принимая во внимание неравномерность накопления общего относительного крена, процедура декомпозиции общего относительного крена фундамента по составляющим, учитывающим грунтовые условия основания фундамента и влияния СДЗП территории

### 9.10.3 Требования к опорной геодезической сети

9.10.3.1 Оценку влияния СДЗП на территории промышленной площадки следует выполнять по развитой опорной высотной, плановой или комбинированной геодезической опорной сети со следующими условиями:

- опорная сеть промплощадки должна включать внешнюю сеть глубинных реперов (по пп. 9.2.1.10) изолированных от техногенного влияния;
- опорная сеть должна наблюдаться совместно с сетью центров и реперов ГДП;
- опорная сеть должна позволять оценивать скорости вертикальных и горизонтальных смещений и их градиенты,
- положение знаков опорной сети должно позволять строить карты скоростей вертикальных и горизонтальных смещений и векторные карты их градиентов на всю территорию промплощадки.

9.10.3.2 В соответствии с условием размещения АС по 9.10.2, территория промплощадки считается однородной и расположенной в пределах единого тектонического блока [12]. Поэтому в пределах такой зоны фоновая составляющая СДЗП может быть определена из скоростей вертикальных смещений глубинных реперов внешней опорной сети в виде уравнения плоскости  $V(x, y) = V_0 + \Delta_{Vx}X_i + \Delta_{Vy}Y_i$ , определяемого после аппроксимации скоростей вертикальных смещений  $V_i$  реперов с координатами  $X_i$  и  $Y_i$ , где  $\Delta_{Vx}$  и  $\Delta_{Vy}$  – частные значения градиента скоростей вертикальных смещений вдоль соответствующих осей.

9.10.3.3 Градиент вертикальной компоненты скоростей СДЗП как векторная величина имеет скалярное значение  $\vec{V}_{grad}$  и направление  $\vartheta_{grad}$ , определяемое из координат точек  $i$  и  $j$  и зависящее от принятой системы координат геодинамических полигонов, так как вектор  $grad(V_{i,j})$  в прямоугольной системе координат определяется как

$$\begin{cases} \vec{V}_{grad} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{Vx}}{\Delta L_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{Vy}}{\Delta L_y}\right)^2} \\ \vartheta_{grad(V)} = - \arctg\left(\frac{\Delta_{Vy}/\Delta L_y}{\Delta_{Vx}/\Delta L_x}\right) \pm 180^\circ \end{cases} \quad (9.34)$$

9.10.3.4 Частный градиент скоростей современных вертикальных движений земной поверхности между точками  $i$  и  $j$  может быть определен по нескольким формулам:

- по скоростям вертикальных смещений реперов

$$grad(V_{ij}) = \frac{V_j - V_i}{L_{i,j}}, \quad (9.35)$$

- по разностям изменений превышений



$$\text{grad}(V_{ij}) = \frac{h_{ij,t} - h_{ij,t-1}}{\Delta T_{t,t-1} L_{i,j}}, \quad (9.36)$$

- по скоростям изменений превышений

$$\text{grad}(V_{ij}) = \frac{V_{h,ij}}{L_{i,j}}, \quad (9.37)$$

9.10.3.5 Учитывая векторный характер градиента скоростей вертикальные и горизонтальные современные движения земной коры и поверхности карты градиентов скоростей современного движения земной поверхности могут быть показаны в виде:

- стандартных стрелочных карт, когда направление ассоциируется вместе с направлением ходов высокоточного нивелирования;

- регулярных стрелочных векторных полей с регулируемой длиной стрелки при помощи специальных построений.

9.10.3.6 Градиенты горизонтальных смещений и их скоростей являются векторными величинами, определяются по изменениям спутниковых координат плановых пунктов (с принудительным центрированием) и показываются в виде стандартных стрелочных карт и планов.

9.10.3.7 Расчет градиентов горизонтальных смещений  $\text{grad}(\Delta L_{ij})$  и его скоростей  $\text{grad}(V_{ij})$  выполняется по разностям изменений координат по формулам:

$$\text{grad}(\Delta L_{ij}) = \frac{\sqrt{(X_{ij,t} - X_{ij,t-1})^2 + (Y_{ij,t} - Y_{ij,t-1})^2}}{L_{i,j}}, \quad (9.38)$$

$$\text{grad}(V_{ij}) = \frac{\sqrt{(X_{ij,t} - X_{ij,t-1})^2 + (Y_{ij,t} - Y_{ij,t-1})^2}}{\Delta T_{t,t-1} L_{i,j}}, \quad (9.39)$$

9.10.3.8 Учет влияния геодинамической активности (современного движения земной поверхности) производят:

- при расчете средней и максимальной осадки – путем учета скорости смещений опорных реперов, являющихся систематической компонентой;

- при расчете относительного крена фундаментов и высотных сооружений – путем учета значения и вектора направления градиента скоростей вертикальных смещений.

9.10.3.9 Опорная геодезическая сеть промышленной площадки должна быть привязана к геодезической сети геодинамического полигона (при его наличии).

## **9.11 Оценка стабилизации осадки и деформаций**

9.11.1 Критериями к стабилизации являются:

- скорость средней (максимальной для отдельно стоящих фундаментов) осадки не более 1 мм/год в соответствии с [6];

- неизменность направления крена (азимута или дирекционного угла – в зависимости от принятой системы координат) в диапазоне СКП определения направления (ориентировочно 5°).

9.11.2 Критериями к стабилизации плановых деформаций является неизменность положения планового положения деформационной и опорной сети в пределах погрешности ее определения.

9.11.3 Решение о стабилизации осадки и деформаций объектов наблюдения должно приниматься при участии генерального проектировщика.

## **9.12 Прогнозирование**

### **9.12.1 Общие положения**

9.12.1.1 В настоящем стандарте рассматривается статистическое прогнозирование, основанное на анализе временного ряда, полученного по результатам геодезического мониторинга.

9.12.1.2 Результаты статистического прогнозирования могут использоваться для оценочных расчетов поведения наблюдаемого объекта при условии, что влияние природно-техногенных или иных воздействий считается постоянным и неизменным.

При изменении природно-техногенных и иных воздействий, используемая длина временного ряда для статистического прогноза (9.3.3.8) определяется с начала проявления изменений природно-техногенных и/или иных воздействий.

9.12.1.3 Статистический прогноз должен выполняться с использованием как временных рядов измеренных величин, так и временных рядов наблюдаемых параметров.

9.12.1.4 Не допускается выполнять прогнозирование по скорости, определенной по двум измерениям, позволяющим определить смещение в единицу времени из-за неопределенности СКП определения скорости.

9.12.1.5 Следует разделять алгоритмы прогнозирования средней осадки и относительного крена от прогнозирования координированных параметров деформаций – максимальной осадки и максимальной относительной разности осадки.

В первом случае прогнозирование выполняется по некоординированному временному ряду, характеризующему объект в целом. Во втором прогнозирование выполняется по координированным временным рядам и предметом прогноза является скорость распространения максимального значения параметра деформации – максимальной осадки и максимальной относительной разности осадки.

### **9.12.2 Метод экстраполяции данных некоординированного временного ряда**

9.12.2.1 Прогнозные оценки рассчитываются методом экстраполяции в несколько этапов, включая:

- нахождение и проверку базовой линии прогноза по закономерностям прошлого развития явления и статистическую оценку степени достоверности выявленной закономерности развития явления в прошлом (подбор трендовой функции);

- расчет экстраполяции на некоторый период будущего вместе с корректировкой полученного прогноза с учетом результатов содержательного анализа текущего состояния.

9.12.2.2 Для получения прогноза развития наблюдаемого деформационного процесса данные базовой линии должны соответствовать следующим требованиям:

- шаг по времени для всей базовой линии должен быть одинаков;

- наблюдения должны фиксироваться в один и тот же момент каждого временного отрезка (например, на полдень каждого дня, первого числа каждого месяца);

- базовая линия должна быть полной, то есть пропуск данных не допускается.

9.12.2.3 Допускается использование приближенных данных, полученных интерполяцией в случае, если в наблюдаемых временных рядах отсутствуют результаты по отдельным циклам наблюдений.

9.12.2.4 Если временные наблюдаемые ряды неравноотстающие, то должна проводиться процедура полиномиального или экспоненциального сглаживания или кубической сплайн-интерполяции, по результатам которых определяются значения членов равноотстающего временного ряда.

9.12.2.5 Прогнозирование может выполняться с учетом специфики и цикличности временного ряда с использованием классических моделей:

- для линейных процессов – модель Хольта;

- для линейных процессов с сезонной составляющей – модель Хольта–Уинтерса;

- для аддитивных (накопительных) линейных процессов – модель Тейла–Вейджа.

### **9.12.3 Метод разложения некоординированного временного ряда на сингулярные спектры**

9.12.3.1 Метод прогнозирования временного ряда на основе анализа методом главных компонент его разложения на SSA выполняется для достаточно длинных (с числом членов ряда не менее 20), регуляризованных (с равноотстающими по времени членами) рядов.

Для малых рядов (с числом равноотстающих членов от 8 до 10) прогнозирование с использованием SSA невозможно.

9.12.3.2 SSA временного ряда должен проводиться совместно с оценками, полученными

на основе метода главных компонент<sup>1)</sup>, спектрального разложения по которым выполняется группировка, где суммарный ряд является трендом, периодическими (сезонными) вариациями и шумом, который можно не учитывать.

9.12.3.3 Каждая из групп должна быть идентифицирована и оценена по диапазону уклонений.

9.12.3.4 Если временной ряд отягощен воздействиями, связанными с временными динамически нагрузками, то такой ряд делится на части, соответствующими времени загрузки.

9.12.3.5 Точность прогнозных значений определяется величиной диапазона дисперсии, определяемой при вероятности 99 %; 97 %; 90 % и 70 %. При этом большему диапазону соответствует большая дисперсия.

#### **9.12.4 Прогнозирование скорости распространения координированных предельных параметров деформаций**

9.12.4.1 Прогнозирование скорости распространения координированных предельных параметров деформаций выполняется для предельной максимальной осадки и предельной относительной разности осадки и определяется по разностям положения изолиний со значением предельного параметра деформаций.

9.12.4.2 Изолинии предельного параметра деформации рассчитываются по расчетным параметрам деформаций ( $S_u^{max}$  и  $(\frac{\Delta s}{L})_u$ ) и координатам деформационных марок, методом кригинга (предпочтительно) или триангуляции и линейной интерполяции.

9.12.4.3 Скорость рассчитывается путем из отношения среднего расстояния между одноименными изолиниями параметров деформаций, полученными за оцениваемый период.

Направление развития определяется из построения перпендикуляров между полученными одноименными изолиниями за оцениваемый период.

9.12.4.4 При оценке развития относительной разности осадки, ее координаты рассчитываются как среднее по координатам пар деформационных марок, размещенным на сопряженных фундаментах.

9.12.4.5 Оценки направления и скорости развития рассчитываются по разности положений изолиний предельных параметров деформаций в виде векторных графиков.

## **10 Отчетная информация геодезического мониторинга**

10.1 Данные, полученные в ходе проведения геодезического мониторинга, должны

---

<sup>1)</sup> Метод главных компонент – один из основных способов уменьшить размерность данных (сингулярного разложения), потеряв наименьшее количество информации.

передаваться заказчику геодезического мониторинга или его уполномоченному представителю в виде технического отчета и акта приемки-передачи результатов работ с составом и периодичностью, определенными в договоре и ТЗ на производство работ.

10.2 К отчетной документации относятся отчеты:

- поэтапный (промежуточный) технический отчет о результатах геодезических измерений одного или нескольких циклов, включающий результаты текущих геодезических измерений (при необходимости – сведения о развитии критических деформационных процессов);

- годовой технический отчет с обобщением годичных результатов мониторинга, разработкой рекомендаций по объему, видам и точностям наблюдений деформаций в последующие периоды наблюдений;

- сводный технический отчет о наблюдениях, выполненных за длительный период.

10.3 При непродолжительном периоде геодезических измерений на объекте может составляться технический отчет без составления промежуточных отчетов.

Рекомендуется, при большом (более 10) количестве наблюдаемых объектов, отчетную информацию выпускать в виде двух книг: книга 1 «Геодезические измерения», книга 2 «Анализ деформаций инженерных объектов геодезическими методами».

10.4 Содержание текстовой части отчета должно содержать ссылки на положения ПГМ без дублирования текста ПГМ.

Отчет должен включать разделы:

- «Введение»;

- «Общие сведения» о районе и объектах, в том числе данные об административном положении объектов (при необходимости); климатические особенности (используемые в сметных расчетах); инженерно-геологические и гидрогеологические характеристики (используемые для анализа деформаций инженерных объектов); краткие характеристики объектов (иллюстрирующие результаты наблюдений);

- «Геодезические измерения», в том числе сведения об используемых приборах, оборудовании и их метрологическом обеспечении; результаты обследования геодезических сетей, включая акт обследования; результаты измерений по опорной сети и деформационным сетям, включая уравнивание с оценкой их точности и качества и заключение о качестве конечных результатов;

- «Анализ результатов геодезического мониторинга», в том числе контроль устойчивости и стабильности территории и выбор исходных геодезических пунктов для расчета параметров средней осадки сооружений; результаты определения параметров деформаций с оценкой точности по объектам в текстовом и графическом виде, включая основные контролируемые предельные и расчетные параметры; сроки наблюдений; схемы размещения деформационной

сети; наблюдаемые параметры деформаций – суммарные, межцикловые (при необходимости), скорости их накопления, а также сопутствующие даты (даты последнего периода расчета скорости и при наличии – даты стабилизации);

- «Заключение», в том числе итоговую обобщенную таблицу с данными о датах начала строительства (или строительно-монтажных работ), ввода в эксплуатацию, начале геодезических измерений, данными о предельных, проектных и наблюдаемых значениях параметров деформаций.

*Примечание* – Дата начала геодезических измерений может совпадать с датой закладки деформационных марок после установки фундаментов, но не начала строительно-монтажных работ, так как согласно СП 48.13330 последние включают, подготовительный период, рытье котлована.

10.5 Табличная и графическая часть технического отчета в зависимости от выполняемых измерений, согласно ТЗ и ПГМ должна содержать:

- для раздела «Обследование»: завизированный и согласованный акт (ведомость) обследования, при необходимости – фотографии с отображением ремонтно-пригодных геодезических знаков;

- для разделов «Уравнивание опорных сетей» и «Результаты геодезических измерений по объектам» – схемы расположения опорных геодезических сетей с размещенными наблюдаемыми зданиями и сооружениями; ведомости и графики с результатами геодезических наблюдений за устойчивостью опорных реперов и знаков с оценкой точности их определения; пообъектные схемы расположения деформационных (поверхностных, глубинных и стенных) марок и знаков с читаемой конфигурацией самого объекта; схемы и ведомости уравнивания нивелирных ходов и линейно-угловых измерений с указанием их основных характеристик (число штативов, невязка, допуск); ведомости координат и высот опорных и деформационных геодезических пунктов;

- для раздела «Анализ данных геодезического мониторинга» – ведомости смещений деформационных знаков в плане и (или) по высоте с указанием скоростей смещений; графики изолиний и эпюры смещения в плане и (или) по высоте деформационных знаков во времени или по циклам; пространственно-временные графики; временные графики наблюдаемых параметров деформаций; инженерно-топографические планы, отображающие проявления опасных природных и техногенных процессов;

*Примечание* – Графики изолиний, векторные схемы должны выполняться с использованием подложки (читающей конфигурации объекта).

- для раздела «Наблюдения за трещинами» – схемы, фотографии с результатами визуальных осмотров, если они касаются межцикловых критических изменений в развитии деформационного процесса и ведомости дефектов при наличии задания по наблюдению за

трещинами несущих и ограждающих конструкций.

10.6 Рекомендуется группировать схемы, ведомости и графики по каждому зданию (сооружению) объекта отдельно.

10.7 Рекомендуемые табличные формы – ведомости определения высот, координат вертикальных и горизонтальных смещений и их скоростей; а также графические формы для иллюстрации средней осадки, относительного крена, максимальной осадки, относительной разности осадок, прогибов/выгибов даны в приложении Ж.

## **11 Системы координат и высот, размерность результатов измерений**

11.1 Размерность результатов геодезических измерений должна соответствовать ГОСТ 8.417 и требованиям документов по стандартизации, распространяющихся на выполнение геодезических работ, включая ГОСТ 24846.

11.2 При проведении работ, связанных с геодезическим мониторингом деформаций наблюдаемых объектов, допускается использовать локальные системы координат и высот.

11.3 Высоты реперов и деформационных марок, координаты пунктов и плановых деформационных марок могут быть представлены по ГОСТ 8.417, ГОСТ 24846.

При приведении в отчетной информации результатов уравнивания (текстовом, табличном и графическом виде) к количеству значимых разрядов десятичного числа должен быть добавлен еще один знак для иллюстрации округлений.

11.4 Результаты вычисления показателей деформаций должны быть представлены в единицах, размерности и терминологии, соответствующей СП 22.13330, ГОСТ 24846:

- осадка (средняя и максимальная) должна иметь размерность в см с одним десятичным знаком (0,1 см), или в мм (1 мм);

- скорость осадки должна иметь размерность мм/год в соответствии с требованиями [6];

- относительный крен фундамента и относительная разность осадки должна быть безразмерной десятичной дробью (0,0001) или быть представлена в виде простой аликвотной дроби (1/1000), или иметь размерность в мм/м (0,1 мм/м);

- относительный крен высотных сооружений должен быть безразмерным (0,0001).

11.5 Координаты высотной сети и сети высотных деформационных марок допускается показывать до дециметров.

## **12 База данных и система управления базой данных геодезического мониторинга**

12.1 Результаты геодезического мониторинга должны храниться в виде БД с использованием существующих возможностей лицензионных и сертифицированных в

Российской Федерации компьютерных программ.

12.2 Использование БД и СУБД осуществляется в рамках [13] и является рабочим инструментом геодезического мониторинга, необходимым для разработки ПГМ и контроля проектных решений в процессе строительства и эксплуатации объектов наблюдения, а также их модернизации, реконструкции и консервации.

12.3 БД и СУБД должны быть предназначены:

- для хранения данных геодезического мониторинга, включая предварительную обработку (отбраковки грубых ошибок и компенсации систематических ошибок) измеренных данных, а также как средство для обеспечения преемственности результатов ранее выполненных измерений и текущих наблюдений;

- для унификации методов расчета искомых параметров по ранее полученным величинам и получения искомых расчетных величин (параметров) и их представлений, включая текстовые, табличные и графические формы;

- для контроля ранее полученных и тиражированных данных, сопоставления с результатами текущих наблюдений и учета изменений в технической и производственной документации.

12.4 Исходные требования к организации БД и СУБД определены ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 10032.

12.5 Рекомендуется использование программного обеспечения, включающего БД и СУБД, позволяющего производить обработку и вычисления после занесения результатов очередного цикла геодезических измерений в БД.

12.6 Состав БД геодезического мониторинга должен включать текстовые, табличные и графические данные:

- исходные, включая пояснительные записки по циклам измерений (описывающих и объясняющих все отступления от проектной схемы и методики измерений, допущенные в данном цикле) и хранящиеся в неизменном виде и формате;

- предварительной обработки;

- вычислительной обработки, анализа и прогноза наблюдаемых величин.

12.7 СУБД должна выполнять:

- предварительную обработку, для которой рекомендуется использовать алгоритмы линейной интерполяции и экстраполяции;

- анализ временных рядов данных, для которого рекомендуется использовать алгоритмы полиномиального (скользящего среднего и средневзвешенного среднего) и экспоненциального сглаживания, одно- и двухмерного регрессионного анализа, авторегрессии, автокорреляции и преобразований Фурье;



- статистической прогноз временных рядов, для которого рекомендуется использовать существующие алгоритмы прогнозирования, основанные на экспоненциальном сглаживании, включая метод Хольта для данных с линейным трендом, метод Хольта-Уинтерса, предназначенный для рядов с линейным трендом и сезонными вариациями; метод Тейла-Вейджа, для аддитивных (накопительных) рядов с сезонными вариациями (при необходимости);

- прогнозирование на основе SSA с преобразованием одномерного ряда в многомерный с последующей группировкой методом главных компонент полученных спектров в тренд (линейный и/или нелинейный), сезонные компоненты и белый шум.

12.8 СУБД должна обеспечить вывод на печать обязательных и рекомендуемых ПГМ ведомостей с использованием возможностей применения шаблонов (тексты, таблицы и графики), конвертируемых в используемые офисные приложения.

## **13 Контроль выполнения геодезического мониторинга и авторский надзор за объектами наблюдений**

### **13.1 Контроль выполнения геодезического мониторинга**

13.1.1 Предметом контроля на основании требований ГОСТ 15467 с целью обеспечения качества выполнения работ по геодезическому мониторингу объектов наблюдения является проверка на соответствие результатов работ требованиям ПГМ.

13.1.2 При проведении работ по геодезическому мониторингу должен осуществляться входной контроль, операционный контроль и приемочный контроль (оценка соответствия выполненных работ ПГМ), объемы, виды, правила выполнения которых устанавливаются ПГМ.

### **13.2 Авторский надзор за объектами наблюдений**

13.2.1 Авторский надзор выполняется специалистами, назначаемыми руководством организации, разработавшей ПГМ в соответствии с СП 11-110–99 (пункт 4.3).

13.2.2 Авторский надзор состоит в выборочном контроле качества согласно ГОСТ Р 58943–2020 (раздел 7) и соблюдения технологии производства геодезических работ, утвержденной ПГМ.

13.2.3 По результатам контрольного мероприятия составляется акт о проделанной работе, который подписывается со стороны контролирующей организации и организации, проводящей геодезический мониторинг.

13.2.4 В процессе проведения геодезического мониторинга перечень контрольных мероприятий и периодичность их выполнения могут корректироваться по решению генерального проектировщика и по согласованию с заказчиком или его уполномоченным представителем.

**Приложение А**  
**(справочное)**

**Примерный перечень объектов наблюдения, подлежащих геодезическому мониторингу**  
**(на примере атомных станций)**

Таблица А.1

Наименование сооружений и конструкций объектов наблюдения	Класс безопасности элементов и установок по [3]	Категория ответственности за ядерную и радиационную безопасность [4] и сейсмостойкости по [5]	Уровень ответственности согласно 190-ФЗ [1], 384-ФЗ [14]
Фундаментная плита, стены и перекрытия фундаментной части реакторного отделения	2	1; I	Повышенный
Несущие конструкции внутри герметичной части реакторного отделения: опорная плита, внутренние перекрытия, стены, облицовка	2	1; I	Повышенный
Облицовка бассейна выдержки и перегрузки	2, 1	1; I	Повышенный
Консоли и балки полярного крана реакторного отделения	1 или 2	1; I	Повышенный
Стены и перекрытия деаэрационной этажерки, этажерки электроустройств (при пристройке к реакторному отделению класс и категория выше)	2 или 3	1 или 2; I или II	Повышенный
Вентиляционная труба	3	2; II	Повышенный
Несущие конструкции каркаса и фундамент машинного зала главного корпуса (или здания турбины); фундаменты под турбогенераторы; несущие конструкции мостовых кранов	3 или 4	II	
Несущие конструкции и фундамент вспомогательного здания (кроме хранилища жидких радиоактивных отходов и узлов свежего топлива)	3	2; II	Повышенный

Продолжение таблицы А.1

Наименование сооружений и конструкций объектов наблюдения	Класс безопасности элементов и установок по [3]	Категория ответственности за ядерную и радиационную безопасность [4] и сейсмостойкости по [5]	Уровень ответственности согласно 190-ФЗ [1], 384-ФЗ [14]
Несущие конструкции хранилищ свежего радиоактивного топлива и твердого радиоактивного топлива, зацементированных, средне- и слабоактивных хранилищ радиоактивных отходов, узла переработки отходов (категория зависит от месторасположения)	3	1 и 2; I или II	Повышенный
Конструкции хранилища свежего топлива или узла свежего топлива спецкорпуса (класс или категория зависят от местоположения хранилища или узла)	2	1; I	Повышенный
Конструкции хранилища отработанного ядерного топлива	2	1; I	Повышенный
Несущие конструкции здания, включающего узел переработки отходов	3	2; II	Повышенный
Эстакады между реакторным отделением и спецкорпусом (другими корпусами)	4	2; II	Повышенный
Конструкции здания дизель-электрической станции аварийного электроснабжения	2	1; I	Повышенный
Фундаменты сооружений для трансформаторов (открытых трансформаторных установок)	4	2; II	Повышенный
Фундаменты зданий электроснабжения/ открытых распределительных устройств	4	2; II	Повышенный
Фундаменты здания резервной дизельной электростанции системы нормальной эксплуатации	4	2; II	Повышенный

Окончание таблицы А.1

Наименование сооружений и конструкций объектов наблюдения	Класс безопасности элементов и установок по [3]	Категория ответственности за ядерную и радиационную безопасность [4] и сейсмостойкости по [5]	Уровень ответственности согласно 190-ФЗ [1], 384-ФЗ [14]
Кабельные тоннели систем безопасности	2	1; I	Повышенный
Несущие конструкции сооружений системы охлаждения ответственных потребителей (брызгальные бассейны, насосные станции, камеры переключений, азотно-кислородные станции)	2	I	Повышенный
Несущие конструкции сооружений и зданий систем охлаждения неответственных потребителей (здание водоподготовки, подводящие и отводящие каналы)	4 или 3	III или II	Повышенный
Градирни	4	2; II	Повышенный
Несущие конструкции очистных сооружений	4	3; III	Повышенный
Несущие конструкции сооружений хранения технологического оборудования или транспорта, гаражей спецтранспорта	4	3; III	Повышенный
Несущие конструкции административного, санитарно-бытового, вспомогательного корпусов, мастерских	4	3; III	Повышенный
Несущие конструкции здания пожарного депо, маслохозяства, складов баллонов и других вспомогательных сооружений	4	3; III	Повышенный
Эстакады технологических и электрических коммуникаций	4	2; II	Повышенный
Примечание – Для конкретных объектов наблюдения классификация зданий, сооружений и основных конструктивных элементов устанавливается проектной организацией в отчете по обоснованию безопасности. В отдельных случаях она может отличаться от приведенной выше классификации.			

**Приложение Б**  
**(справочное)**

**Основные формулы для расчета контролируемых параметров**

Таблица Б.1

Параметр	Расчетная формула	Формулы оценки точности
<b>Вертикальные смещения</b>		
Абсолютная величина смещения	$S_t = H_t - H_0$ где $H_t, H_0$ – высота деформационной марки (знака) в $t$ -ом цикле наблюдений и 0-ом начальном цикле наблюдений	$m_s^2 = m_{H(t)}^2 + m_{H(0)}^2,$ где $m_{H(t)}$ и $m_{H(t-1)}$ – СКП определения высоты деформационной марки в нулевом и $i$ -ом циклах наблюдений
Текущая величина смещения	$S_t = H_t - H_{t-1}$ где $H_t, H_{t-1}$ – высота деформационной марки (знака) в $t$ -ом цикле наблюдений и $t-1$ -ом цикле наблюдений	$m_s^2 = m_{H(t)}^2 + m_{H(0)}^2,$ где $m_{H(t)}$ и $m_{H(t-1)}$ – СКП определения высоты деформационной марки в $i$ -ом и $i-1$ -ом циклах наблюдений
Разность смещения марок $n$ и $m$ в одном цикле измерений $i$ (неравномерность смещения)	$\Delta S_{nm,i} = S_{n,i} - S_{m,i} = h_{mn,i} - h_{mn,0}$	$m_{\Delta S(mn)} = 2m_H$
Разность смещения марки $n$ в двух циклах $i$ и $i+1$ (приращение смещения)	$\Delta S_{n,i,i+1} = \Delta H_{n,i+1} - \Delta H_{n,i}$	$m_{\Delta S(mn)} = 2m_H$
Средняя величина смещения сети деформационных марок	$S_{\text{сир}} = \frac{\sum_1^n S_{Hi}}{n},$ где $n$ – число наблюдаемых точек в группе или назначенном профиле точек	$m_\eta = \frac{m_s}{\sqrt{n}}$
Средняя осадка геометрического центра	$S(x, y) = k_H + k_X X_{\text{ГЦ}} + k_Y Y_{\text{ГЦ}},$ где $k_H, k_X, k_Y$ – коэффициенты уравнения поверхности вертикальных смещений, получаемые в результате аппроксимации полиномом первого порядка координат деформационных знаков и их вертикальных смещений; $X_{\text{ГЦ}}$ и $Y_{\text{ГЦ}}$ – координаты геометрического центра, определяемые относительно геометрии фундамента	
Относительная разность смещений марок	$\eta = \frac{(\Delta S_{nm})_i}{L},$ где $L$ – расстояние между двумя деформационными марками	$m_\eta = \frac{2m_H}{L}$

Продолжение таблицы Б.1

Параметр	Расчетная формула	Формулы оценки точности
Симметричный относительный прогиб	$f = \frac{2S_k - (S_n + S_m)}{2L},$ <p>где <math>S_m</math> и <math>S_n</math> – смещения марок, расположенных на краях прямолинейного участка сооружения (конструкции) длиной <math>L</math>; <math>S_k</math> – смещение марки, расположенной посередине между точками <math>m</math> и <math>n</math></p>	$m_f = \frac{m_H}{L} \sqrt{3}$
Скорость вертикального смещения	$v_i = \frac{S_i}{t},$ <p>где <math>t</math> – время наблюдений, выраженное в месяцах или годах;  <math>S_i</math> – величина смещения деформационной марки в вертикальной плоскости за время <math>t</math>.</p>	$m_f = \frac{m_H}{t} \sqrt{2},$ <p>считается, что погрешность определения времени проведения измерений незначительна</p>
Градиент скорости смещения	<p>Относительная неравномерность скоростей вертикальных смещений двух марок, расположенных на расстоянии <math>L</math>:</p> $\text{grad } v_{ji} = \left  \frac{v_j - v_i}{L_{ji}} \right $	
<b>Вертикальные смещения (тригонометрическое нивелирование)</b>		
Текущая (абсолютная) величина смещения	$\delta h_j = h_j - h_{0j} = S_j \text{ctg} Z_j - S_{0j} \text{ctg} Z_j,$ <p>где <math>S_j</math> – длина наклонной линии;  <math>Z_j</math> – зенитное расстояние;  <math>h_j</math> – превышение точки в текущем цикле;  <math>h_{0j}</math> – превышение точки на исходную для расчетов дату</p>	$m_{\delta h} = \sqrt{2(m_S^2 \text{ctg}^2 Z + \frac{S^2 m_Z^2}{\rho^2 \sin^4 Z})},$ <p>при <math>m_{Z_j} = m_{Z_0} = m_Z, S_j = S_0 = S</math>,</p>
<b>Горизонтальные смещения</b>		
Абсолютные величины смещений по осям координат	$\begin{cases} S_{xj} = x_j - x_{0j} \\ S_{yj} = y_j - y_{0j} \end{cases}$	$m_S = m_x \sqrt{2} \quad m_S = m_y \sqrt{2}$ $m_x = \mu \sqrt{Q_x} \quad m_y = \mu \sqrt{Q_y},$ <p>где <math>Q_x</math> и <math>Q_y</math> – весовые квадратичные коэффициенты по осям координат, получаемые в результате уравнивания</p>
Средние горизонтальные смещения из $n$ марок (знаков)	$S_{x_{cp}} = \frac{\sum_1^n S_{x_j}}{n}; \quad S_{y_{cp}} = \frac{\sum_1^n S_{y_j}}{n}.$	
Разности смещений знаков $n$ и $m$ в одном цикле наблюдений	$(\Delta S_{nm})_{x_j} = (S_n)_{x_j} - (S_m)_{x_j};$ $(\Delta S_{nm})_{y_j} = (S_n)_{y_j} - (S_m)_{y_j}$	$m_{\Delta S_{nm}} = m_{\Delta S_n} = 2m_{X^{(V)}}$
Разности смещений знака $n$ по двум циклам наблюдений (приращение смещения)	$(\Delta S_n)_{x_j y_{j+1}} = (S_n)_{x_{j+1}} - (S_n)_{x_j};$ $(\Delta S_n)_{y_j y_{j+1}} = (S_n)_{y_{j+1}} - (S_n)_{y_j}.$	

Продолжение таблицы Б.1

Параметр	Расчетная формула	Формулы оценки точности
Скорость горизонтального смещения	$v_{i(x,y)} = \frac{S_i}{t},$ <p>где <math>t</math> – время наблюдений, выраженное в месяцах или годах;</p> <p><math>S_i(x,y)</math> – величина смещения знака по оси <math>X</math> или <math>Y</math> координат за время <math>t</math>.</p>	
Кручение	<p>Величину кручения характеризуют углом поворота <math>\varphi</math> радиуса-вектора <math>r</math> относительно одной из осей координат, или длиной дуги <math>l</math></p> $l = \frac{\varphi}{\rho} r$	
<b>Крен и неvertикальность</b>		
Крен фундамента или оси сооружения из-за неравномерной осадки фундамента	$q = \frac{\Delta S}{l} H,$ <p>где <math>\Delta h = h_{i+1} - h_i</math> – разность превышений между марками в начале и в конце периода наблюдения за креном фундамента;</p> <p><math>H</math> – высота;</p> <p><math>l</math> – расстояние между марками;</p> <p>Полная величина крена по двум взаимно перпендикулярным направлениям строительных осей здания:</p> $Q^2 = q_x^2 + q_y^2,$ <p>Дирекционное направление крена:</p> $tg \alpha_Q = q_y / q_x$	$m_Q = m_q \sqrt{2},$ <p>где <math>m_q</math> соответствует точности определений вертикальных смещений.</p>
<b>Относительный крен фундамента</b>		
Крен сооружения (способ вертикального проектирования)	$Q = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 - 2q_1 q_2 \cos \gamma}$ $q_1 = q_1' \frac{S_1}{d_1}; q_2 = q_2' \frac{S_2}{d_2}.$ <p>где <math>q_1'</math> и <math>q_2'</math> – составляющие неvertикальности <math>Q</math> в центральной проекции;</p> <p><math>q_1</math> и <math>q_2</math> – ортогональные величины ;</p> <p><math>d_1</math> и <math>d_2</math> – измеренные расстояния до реек;</p> <p><math>S_1</math> и <math>S_2</math> – расстояния от пунктов I и II до наблюдаемой точки;</p> <p><math>\gamma</math> – угол менее <math>90^\circ</math> (если равен <math>90^\circ</math> используется вышеприведенная формула для перпендикулярных направлений)</p>	$m_Q = m_q \sqrt{2},$ $m_q = \frac{S}{d} \sqrt{m_l^2},$ <p>где <math>l</math> – средний отсчет, взятый по рейке при двух кругах;</p> <p><math>m_l</math> – СКП этого отсчета</p>

## Окончание таблицы Б.1

Параметр	Расчетная формула	Формулы оценки точности
<p>Крен сооружения (линейно-угловые или координатные определения)</p> <p>Абсолютные смещения по осям координат</p> <p>Текущие смещения</p>	$\begin{cases} q_x = x_j - x_0 \\ q_y = y_j - y_0 \end{cases}$ <p>где <math>x_0, y_0</math>, – координаты точки в начальном цикле измерений;</p> <p><math>x_j, y_j</math> – координаты точки в текущем цикле измерений</p>	<p>СКП определяется в зависимости от способа измерений по формулам или из уравнивания. Например, способ линейно-угловой засечки:</p> $m_Q = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{2(S_1^2 + S_2^2)}$ <p>где <math>m_Q</math> – СКП определения с двух опорных точек;</p> <p><math>S</math> – расстояния от опорных точек до определяемой;</p> <p><math>\gamma</math> – угол засечки, который должен быть не менее <math>30^\circ</math></p>
<p>Крен сооружения (способ малых углов или нескольких сечений)</p>	$\alpha_0^i = \alpha_L^i - \frac{\beta}{2}$ <p>где <math>\beta</math> – параллактический угол при наблюдении направлений на образующие ствола;</p> <p><math>\alpha_0^i</math> – направление на центр сечения;</p> <p>угловое смещение оси: <math>q_\alpha = \frac{\Delta\beta L}{\rho}</math>;</p> <p>где <math>\Delta\beta</math> – параллактический угол, равный разности направлений на центры сечений;</p> <p><math>L</math> – расстояние до центра сечения</p>	<p>СКП определения углового смещения:</p> $m_q = \frac{m_{\Delta\beta} L}{\rho}$ <p>где <math>m_{\Delta\beta} = m_\beta / \sqrt{2}</math></p> $m_\beta = m_\alpha \sqrt{2}.$
<p>Прогиб оси от крена трубы</p>	$q_k = 0.003 H \Delta S' \lambda'$ <p>где <math>H</math> – высота сооружения;</p> <p><math>\Delta S'</math> – неравномерность осадки</p> <p>приведенная гибкость <math>\lambda' = H/D_n</math> зависит от нижнего внешнего диаметра трубы на отметке 0,00 м</p>	
<p>Прогиб оси трубы от действия солнечной радиации</p>	$f_i = \frac{\alpha \Delta t H^2}{6 D_n} \left( 1 + \frac{4 D_n}{D_v + D_n} \right),$ <p>где <math>H</math> – высота сооружения;</p> <p><math>\Delta t</math> – перепад температур на солнечной и теневой стороне ствола;</p> <p><math>D</math> – диаметр верхнего или нижнего сечений трубы;</p> <p><math>\alpha = 1,2 \times 10^{-5}</math> – коэффициент температурного линейного расширения</p>	



**Приложение В**  
**(рекомендуемое)**

**Предельные значения параметров деформаций объектов наблюдения**

Таблица В.1 – Предельные значения параметров деформаций оснований и фундаментов зданий и сооружений

Сооружения	Предельные деформации основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $(\Delta S/L)_i$	Крен $i$	Максимальная* $S_i^{max}$ или средняя $\bar{S}_i$ осадка, см
1 Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом: - железобетонным; - то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции; - стальным; - то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий			
	0,002		10*
	0,003		15*
	0,004		15*
	0,005		18*
2 Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006		20*
3 Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из: - крупных панелей; - крупных блоков или кирпичной кладки без армирования; - то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции			
	0,0016		12
	0,0020		12
	0,0024		18
4 Дымовые трубы высотой $H$ , м: $H \leq 100$ $100 < H \leq 200$ $200 < H \leq 300$			
		0.005	40
		1/2H	30
		1/2H	20
5 Дымовые трубы высотой $H$ , м: $H \leq 100$ $100 < H \leq 200$ $200 < H \leq 300$ $H > 300$			
		0.005	40
		1/2H	30
		1/2H	20
		1/2H	10

Окончание таблицы В.1

Сооружения	Предельные деформации основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $(\Delta S/L)_i$	Крен $i$	Максимальная* $S_i^{max}$ или средняя $\bar{S}_i$ осадка, см
6 Жесткие сооружения высотой до 100 м, кроме указанных в пунктах таблицы 4 и 5		0.004	20
7 Антенные сооружения связи: - стволы мачт заземленные - то же, электрически изолированные - башни радио - башни коротковолновых радиостанций - башни (отдельные блоки)	-	0.002	20
	-	0.001	10
	0.002	-	
	0.0025	-	
	0.001	-	
8 Опоры воздушных линий электропередачи: - промежуточные прямые; - анкерные и анкерно-угловые; - промежуточные угловые, концевые, порталы открытых распределительных устройств специальные переходные			
	0.003		
	0.0025		
	0.002		
<p><b>Примечания</b></p> <p>1 Значение предельной максимальной осадки <math>S_i^{max}</math> основания фундаментов применяется к сооружениям, возводимым на отдельно стоящих фундаментах на естественном (искусственном) основании или на свайных фундаментах с отдельно стоящими ростверками (например, ленточные, столбчатые).</p> <p>2 Значение предельной средней осадки <math>\bar{S}_i</math> основания фундаментов применяются к сооружениям, возводимым на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты и т.п.).</p> <p>3 Предельные значения относительного прогиба зданий, указанных в пункте 3 таблицы, принимают равными <math>0,5 (\Delta S/L)_i</math>, а относительного выгиба - <math>0,25 (\Delta S/L)_i</math>.</p> <p>4 При определении относительной разности осадок <math>(\Delta S/L)_i</math> в пункте 8 таблицы Г.1 за <math>L</math> принимают расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок, а в опорах с оттяжками - расстояние между осями сжатого фундамента и анкера.</p> <p>5 Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1), выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20%.</p> <p>6 Предельные значения подъема основания, сложенного набухающими грунтами, допускается принимать: максимальный и средний подъем в размере 25% и относительную разность осадок в размере 50% соответствующих предельных значений деформаций, приведенных в настоящем приложении, а относительный выгиб - в размере <math>0,25 (\Delta S/L)_i</math>.</p> <p>7 На основе обобщения опыта проектирования, строительства и эксплуатации отдельных видов сооружений допускается принимать предельные значения деформаций основания фундаментов, отличающиеся от указанных в настоящем приложении.</p>			

Таблица В.2 – Предельные значения параметров деформаций строительных конструкций зданий и сооружений

Сооружения, их конструктивные особенности	Деформация	
	параметр	значение
1 Балки крановых путей под мостовые и подвесные краны, в том числе (при $l$ – пролете элемента конструкции): - управляемые с пола, тельферы; - управляемые из кабины (режим* 1К–6К) - управляемые из кабины (режим 7К); - управляемые из кабины (режим 8К)	относительный вертикальный прогиб	$l/250$
		$l/400$
		$l/500$
		$l/600$
2 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы покрытий и перекрытий открытых для обзора при пролете: - менее 1 м; - 3 м; - 6 м; - 24 м (12 м при высоте помещений до 6 м); - от 36 м (24 м при высоте помещений до 6 м)	относительный вертикальный прогиб	$l/120$
		$l/150$
		$l/200$
		$l/250$
		$l/300$
3 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы покрытий и перекрытий при наличии перегородок под ними	абсолютная величина вертикального прогиба	40 мм
4 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы покрытий и перекрытий при наличии на них элементов, подверженных растрескиванию (стяжек, полов, перегородок)	относительный вертикальный прогиб	$l/150$
5 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы покрытий и перекрытий при наличии подвесных кранов (нагрузка от одного крана): - управляемых с пола; - управляемых из кабины	относительный вертикальный прогиб (меньшее значение из двух)	$l/300$ или $a/150$
		$l/400$ или $a/200$
6 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы перекрытий, подверженных действию от смещаемых грузов и материалов	относительный вертикальный прогиб	$l/350$
7 Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы перекрытий, подверженных действию нагрузок от рельсового транспорта (одного состава вагонов): узкоколейного (ширококолейного)	относительный вертикальный прогиб	$l/400$ ( $l/500$ )
8 Плиты перекрытий, лестничные марши и площадки, прогибу которых не препятствуют смежные элементы (нагрузка 1 кН или 100 кгс)	абсолютная величина вертикального прогиба	0,7мм

Продолжение таблицы В.2

Сооружения, их конструктивные особенности	Деформация	
	параметр	значение
9 Ригели и прогоны остекления, перемычки над дверными проемами	относительный вертикальный прогиб	$l/200$
10 Колонны зданий, оборудованных мостовыми кранами и крытых крановых эстакад (при $h$ – высоте от верха фундамента или оси ригеля перекрытия до головки гранового рельса): - группа режима работы крана 1К–3К; - группа режима работы крана 4К–6К; - группа режима работы крана 7К–8К	относительный горизонтальный прогиб от нагрузки одного крана	$h/500$
		$h/1000$
		$h/2000$
11 Колонны открытых крановых эстакад: - группа режима работы крана 1К–3К; - группа режима работы крана 4К–6К; - группа режима работы крана 7К–8К	относительный горизонтальный прогиб от нагрузки одного крана	$h/1500$
		$h/2000$
		$h/2500$
12 Балки крановых путей, зданий, крытых и открытых крановых эстакад при $l$ – длине балки: - группа режима работы крана 1К–3К; - группа режима работы крана 4К–6К; - группа режима работы крана 7К–8К	Относительный горизонтальный прогиб от нагрузки одного крана	$l/500$
		$l/1000$
		$l/2000$
13 Многоэтажное здание, стены и перегородки любого крепления (при $h$ – расстоянии от верха фундамента до оси ригеля покрытия)	относительная величина горизонтального смещения	$h/500$
14 Один этаж многоэтажного здания при податливом креплении стен и перегородок к каркасу (при $h$ – расстоянии между осями смежных ригелей)	относительная величина горизонтального смещения	$h/300$
15 Один этаж многоэтажного здания при жестком креплении к каркасу стен и перегородок из кирпича, гипсобетона, железобетонных панелей	относительная величина горизонтального смещения	$h/500$
16 Один этаж многоэтажного здания при облицовке стен из керамических блоков, стекла, облицованных естественным камнем	относительная величина горизонтального смещения	$h/700$

## Продолжение таблицы В.2

Сооружения, их конструктивные особенности	Деформация	
	параметр	значение
17 Одноэтажные здания с самонесущими стенами при высоте этажа $h$ , м: - до 6 м включ.; - 15 м; - от 30 м;	относительная величина горизонтального смещения	$h/150$
		$h/200$
		$h/300$
18 Одноэтажное здание с навесными стенами и многоэтажные этажерки	относительная величина горизонтального смещения	$h/150$
19 Стойки, навесные стеновые панели при $l$ – расчетном пролете стоек или панелей	относительный горизонтальный прогиб от ветровых нагрузок	$l/200$
20 Опоры транспортерных галерей при $h$ – высоте опор от верха фундамента до низа ферм или балок	относительный горизонтальный прогиб от ветровых нагрузок	$h/250$
21 Колонны каркасных зданий при $h$ – высоте этажа или от фундамента до низа балок крановых путей: - стены и перегородки из кирпича, железобетона, панелей навесных; - стены, облицованные естественным камнем, из керамических блоков, стекла	относительный горизонтальный прогиб от температурных и усадочных воздействий	$h/150$
		$h/200$
22 Элементы междуэтажных перекрытий при $l$ , мм: менее 3 м включ.; более 12 м включ.	абсолютное значение выгиба (прогиба)	15
		40
23 Колонны железобетонные одноэтажных зданий, при длине: - до 4 м; - 4–8 м; - 8–16 м; - 16–25 м	отклонение оси колонны в верхнем сечении от вертикали	25 мм
		30 мм
		35 мм
		50 мм
24 Колонны и опоры железобетонные (стальные) (эксплуатация)	смещение относительно разбивочных осей в опорном сечении	10 мм (15мм)
25 Колонны стальные, $l$ – высота колонны	–	$l/500$

## Продолжение таблицы В.2

Сооружения, их конструктивные особенности	Деформация	
	параметр	значение
26 Верхний торец железобетонной колонны, при длине колонны: - до 4 м; - 4–8 м; - 8–16 м; - 16–25 м	разность отметок верха колонн в ряду	20 мм
		25 мм
		30 мм
		35 мм
27 Верхний торец стальных колонн	разность отметок верха колонн в ряду или в пролете	10 мм
28 Железобетонная балка, высота в положении на опоре: - до 1 м; - 1–1,6 м; - 1,6–2,5 м	отклонение продольной оси балки в верхнем сечении от вертикальной плоскости проходящей через продольную ось нижестоящего элемента	8 мм
		10 мм
		12 мм
29 Стальная балка кранового пути	смещение продольной оси балки с продольной разбивочной оси	10 мм
30 Железобетонные балки кранового пути, при длине балки: - до 4 м; - 4–8 м; - 8–16 м; - 16–25 м	отклонение торцов балок от оси симметрии опорной колонны	6 мм
		8 мм
		10 мм
		12 мм
31 Стальные балки кранового пути	–	25 мм
32 Железобетонные балки кранового пути, опирающиеся на колонны ряда, при расстоянии $L$ между колоннами, м: - менее 10 м включ.;	разность отметок верха в месте опирания балок на колонны, т. е. вдоль ряда	0,001 $L$
		20 мм
33 Железобетонные балки кранового пути, опирающиеся на колонны ряда, при расстоянии $S$ пролета между колоннами	разность отметок верха в месте опирания балок на колонны, поперек ряда (в пролете)	0,001 $S$ , но не более 40 мм

## Окончание таблицы В.2

Сооружения, их конструктивные особенности	Деформация	
	параметр	значение
34 Стальная колонна или опора	абсолютная величина горизонтального прогиба	не более 20 мм
35 Стальные балки	относительный вертикальный прогиб	1/400
36 Стальные балки	относительный горизонтальный прогиб	1/500
37 Железобетонные балки крановых путей: - растянутая зона поперек арматуры;  - продольная зона вдоль арматуры	максимальное раскрытие трещин	0,4 мм
		1,0 мм
38. Опоры балок крановых путей:  - зона поперек арматуры;  - зона вдоль арматуры	максимальное раскрытие трещин	0,4 мм
		1,0 мм
39 Фундамент турбоагрегата, деформации за межремонтный период (4 года) $L$ – длина в осях крайних подшипников	Стрела прогиба нижней плиты фундамента	
	- при $L$ не более 40 м	0,0001 $L$
	- при $L$ более 40 м	0,00015 $L$
40 Башенное сооружение или труба при $H$ – высоте сооружения	относительный прогиб оси из-за крена	0,0015 $H$
41 Башенное сооружение или труба при $H$ – высоте сооружения	относительный прогиб оси из-за ветрового напора	0,0133 $H$
42 Башенное сооружение или труба при $H$ – высоте сооружения	относительный прогиб оси из-за действия солнечной радиации	0,005 $H$

**Приложение Г  
(рекомендуемое)**

**Цикличность геодезического мониторинга**

Таблица Г.1 – Рекомендуемая периодичность наблюдений вертикальных смещений на этапах строительства и эксплуатации объектов наблюдения

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
После возведения фундамента зданий или сооружений	Один цикл		
При достижении 25, 50, 75 и 100 процентной нагрузки на фундамент	Всего 4 цикла наблюдений		
Во время опробования производственного цикла сооружения	Один и более циклов (в зависимости от особенностей и длительности процесса)		
Приемка сооружения в эксплуатацию	Один цикл		
В первый год эксплуатации	4 раза в год	4 раза в год	1 раз в год
До стабилизации смещений	3 раза в год	2 раза в год	1 раз в год
После стабилизации смещений	1 раз в год	1 раз в 2 года	1 раз в 5 лет
Водоподпорные каменно-земляные сооружения: - в период строительства; - в первый год эксплуатации; - во второй год эксплуатации; - до стабилизации смещений	Ежеквартально 8 раз в год 2 раза в год 1 раз в год		
Бетонные гидротехнические сооружения на скальном основании: - в период строительства; - в первые 3 года эксплуатации; - до стабилизации смещений; - после стабилизации смещений	Ежеквартально 1–2 раза в год 1 раз в 2 года 1 раз в 5 лет		
Бетонные гидротехнические сооружения на сжимаемом основании: - в период строительства; - в первые 3 года эксплуатации; - до стабилизации смещений; - после стабилизации смещений	Ежеквартально 2 раза в год 1 раз в год 1 раз в 5 лет		
Опоры трубопроводов в период эксплуатации	2–4 раза в год		



## Окончание таблицы Г.1

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
Фундаменты турбогенераторов после бетонирования нижней плиты: - до монтажа, по нижней плите; - до монтажа, по колоннам; - перед пуском; - до стабилизации плиты после пуска генератора, по верхней плите; - при эксплуатации, по колоннам; - после стабилизации вертикальных смещений, по колоннам; - при эксплуатации генератора, по верхней плите	1 цикл  2 раза в месяц 1 раз в 2 месяца 1–2 цикла 2 раза в сутки примерно 2 недели  1–2 раза в год 1 раз в 5 лет  5–90 дней в зависимости от скорости вертикальных смещений и тепловых деформаций фундамента		
Защитная оболочка (вертикальные смещения)	по утвержденному эксплуатирующей организацией графику		

Таблица Г.2 – Рекомендуемая периодичность наблюдений горизонтальных смещений на этапах строительства и эксплуатации объектов наблюдения

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
После возведения фундамента	Один цикл		
При достижении 25, 50, 75 и 100-процентной нагрузки на фундамент	4 цикла наблюдений		
Во время опробования производственного цикла сооружения	Один и более циклов (в зависимости от особенностей и длительности процесса)		
Приемка сооружения в эксплуатацию	Один цикл		
В первый год эксплуатации	4 раза в год	4 раза в год	1 раз в год
До стабилизации осадок	3 раза в год	2 раза в год	1 раз в год
После стабилизации осадок	1 раз в год	1 раз в 2 года	1 раз в 5 лет
Водоупорные грунтовые сооружения: - в период строительства и первый год эксплуатации;	Ежеквартально		

## Окончание таблицы Г.2

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
Водоподпорные грунтовые сооружения: - до стабилизации осадок	1 раз в год		
Бетонные гидротехнические сооружения на скальном основании: - в период строительства; - в первые три года эксплуатации; - до стабилизации осадок; - после стабилизации осадки	Ежеквартально 1–2 раза в год 1 раз в 2 года 1 раз в 5 лет		
Бетонные гидротехнические сооружения на сжимаемом основании: - в период строительства; - в первые три года эксплуатации; - до стабилизации осадок; - после стабилизации осадки	Ежеквартально 2 раза в год 1 раз в год 1 раз в 5 лет		
Опоры трубопроводов в период эксплуатации (крен)	2–4 раза в год		
Фундаменты турбогенераторов: - после бетонирования нижней плиты; - до монтажа, по нижней плите	1 цикл не менее 1 цикла		
- перед пуском, по колоннам и верхней плите; - после стабилизации верхней плиты, по колоннам и верхней плите; - в процессе эксплуатации	не менее 1 цикла не менее 1 цикла по специальной программе в зависимости от величин деформаций		
Защитная оболочка (крен), эксплуатация	1 раз в 5 лет или по утвержденному эксплуатирующей организацией графику		

Таблица Г3 – Рекомендуемая периодичность наблюдения крена

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
После возведения фундамента	Не менее одного цикла		
Этап должен быть приурочен к 25, 50, 75 и 100 процентной нагрузке на фундамент от укладки бетона	4 цикла наблюдений помимо геодезических работ по обеспечению вертикальности сооружения		

Окончание таблицы Г.3

Этап наблюдений	Уровень ответственности сооружения или здания за радиационную и ядерную безопасность по [4]		
	I	II	III
Во время опробования труб	Не реже одного раза в двое суток во время сушки и прогрева		
Приемка сооружения в эксплуатацию	Один цикл, совмещенный с определением осадок фундамента		
В первый год эксплуатации	4 раза в год	4 раза в год	1 раз в год
До стабилизации осадок	3 раза в год	2 раза в год	1 раз в год
После стабилизации осадок	1 раз в год	1 раз в 2 года	1 раз в 5 лет

**Приложение Д**  
**(справочное)**

**Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования**

**Д.1 Высокоточное нивелирование**

Д.1.1 Основные параметры, характеристики и контрольные величины высокоточного оптического и цифрового нивелирования приведены в таблице Д.1

Т а б л и ц а Д.1

Параметры	Классическое нивелирование				Разрядное нивелирование			
	Оптические		Цифровые		Оптические		Цифровые	
	I	II	I	II	1	2	1	2 <sup>1</sup>
<b>Общие характеристики</b>								
Число направлений (V), шт.	2	2	2	2	2	2	2	2
Число линий (L), шт.	2	1	2	1	1	1	1	1
Предельная длина визирного луча, м	50	65	100	100	40	70	100	100
Средняя длина визирного луча, м	30	40	50	70	25	40	50	50
Допустимое неравноплечие: на станции / в секции, м	0,5/1,0	1,0/2,0	0,5/1,0	1,0/2,0	0,5/1,0	1,0/2,0	0,5/1,0	1,0/2,0
Среднее количество штативов (n) на 1 км хода, шт.	15	15	10	10	15	15	10	10
Высота луча над подстилающей поверхностью, м	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3
<b>Предварительные установки</b>								
Количество считываний (k), раз			$k \geq 3$	$k \geq 3$			$k \geq 3$	$k \geq 3$
СКП считывания, мм			0,1	0,1			0,1	0,1
<b>Контроль наблюдений на станции</b>								
СКП превышения на станции, мм	0,16	0,3	0,07	0,1	0,15	0,3	0,1	0,15
Пред. разность между двумя превышениями на станции, мм	0,5	0,7	0,1	0,15	0,5		0,14	
<b>Контроль в ходе между двумя реперами на 1 км дв. хода <math>n \leq 15</math> / <math>n &gt; 15</math> штативов, мм</b>								
<u>между левой и правой</u> <u>нивелировкой</u>	<u>2 / 3</u>	<u>-</u>	<u>1 / 2</u>	<u>-</u>				
в прямом и обратном ходе	3 / 4	5 / 6	2 / 3	4 / 5				
<b>Контроль при уравнивании</b>								
Допустимая невязка в замкнутом полигоне на 1 км двойного хода, мм	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$1\sqrt{L}$	$3\sqrt{L}$				
Допустимая невязка в замкнутом ходе (n – число станций), мм.	$0,16\sqrt{n^2}$	$0,3\sqrt{n^2}$	$0,1\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,3\sqrt{n}$
<sup>1</sup> Нивелирование второго разряда выполняется при одном горизонте инструмента в прямом и обратном направлениях								

Д.1.2 Для ориентировочных вычислений при подсчете точности нивелирования при помощи электронного нивелирования рекомендуется воспользоваться графическим отображением зависимости на рисунке Д.1.

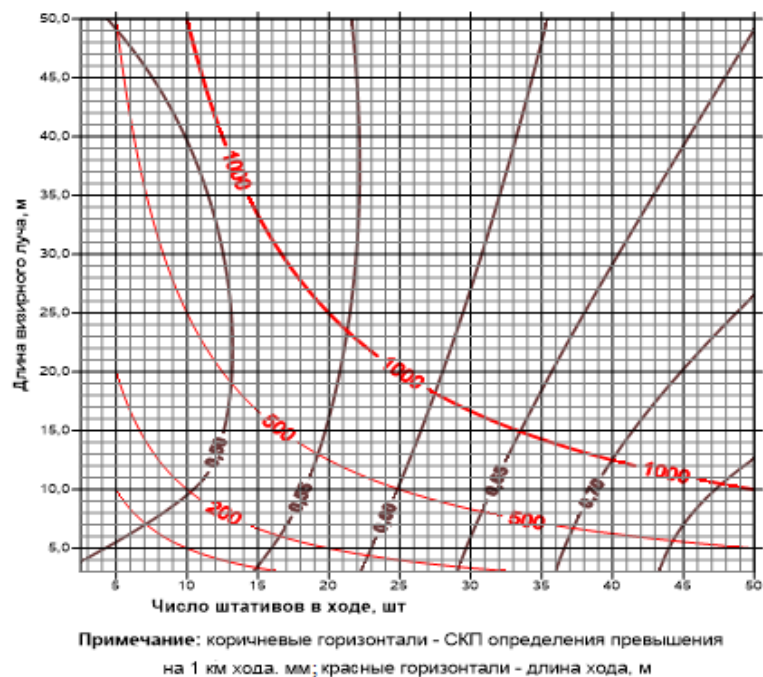


Рисунок Д.1 – Номограмма ориентировочной зависимости между длиной визирного луча, количеством штативов в ходе длиной 1000 м и СКП удаленной точки равной 1 мм при нивелировании по требованиям II класса со сбивкой горизонта

## Д.2 Оптическое нивелирование

Д.2.1 Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования I, II, III и IV классов должны приниматься в соответствии таблицей Д.2.

Таблица Д.2

Параметры геометрического нивелирования	Основные технические характеристики ходов и допуски для геометрического нивелирования I, II, III и IV классов			
	I	II	III	IV
Длина визирного луча, не более, м	50	65	75	100
Высота визирного луча над препятствием, не менее, м.	0,8	0,5	0,3	0,2
Неравенство расстояний от нивелира до реек (плеч) на станции, не более, м.	0,5	1,0	2,0	5,0
Накопление неравенств плеч в замкнутом ходе, не более, м на 1 км хода.	1,0	2,0	5,0	10,0
Доп. невязка в замкнутом ходе ( $L$ – длина линий), мм.	$\pm 3\sqrt{L}$	$\pm 5\sqrt{L}$	$\pm 10\sqrt{L}$	$\pm 25\sqrt{L}$
Доп. невязка в замкнутом ходе ( $n$ – число станций), мм.	$\pm 0,15\sqrt{n}$	$\pm 0,5\sqrt{n}$	$\pm 1,5\sqrt{n}$	$\pm 5\sqrt{n}$
СКП превышения (на станции), мм	0,16	0,30	0,65	3,00

## Окончание таблицы Д.2

Параметры геометрического нивелирования	Основные технические характеристики ходов и допуски для геометрического нивелирования I, II, III и IV классов			
	I	II	III	IV
Нивелирные ходы прокладываются в направлениях	прямо и обратно по двум парам костылей	прямо и обратно по одной паре костылей и двум шкалам инварных реек	прямо и обратно по двум шкалам инварных реек	в прямом направлении, по двум шкалам инварных реек или двум сторонам шашечной рейки

Д.2.2 Основные технические характеристики и допуски разрядного гидротехнического нивелирования по таблице Д.3.

Таблица Д.3

Параметры геометрического нивелирования	Основные технические характеристики ходов и допуски для нивелирования 1, 2, 3 разрядов		
	1	2	3
Длина визирного луча, не более, м	25	25	50
Высота визирного луча над препятствием, не менее, м	0,8	0,8	0,3
Неравенство расстояний от нивелира до реек (плеч) на станции, не более, м	0,5	0,5	1,0
Накопление неравенств плеч в замкнутом ходе, не более, м	1,0	1,0	2,0
Предельное расхождение превышений прямого и обратного ходов ( $n$ – число станций) или замкнутого полигона, мм	$\pm 0,3\sqrt{n}$	$\pm 0,5\sqrt{n}$	
Предельное расхождение превышений хода ( $n$ – число станций), мм			$\pm 1,2\sqrt{n}$
СКП превышения (на станции), мм	0,08	0,13	0,40
Нивелирные хода прокладываются в направлениях	прямо и обратно при двух горизонтах прибора	прямо и обратно при одном горизонте прибора	в одном направлении при одном горизонте прибора

Д.2.3 Основные технические характеристики и допуски для высокоточного геометрического нивелирования коротким визирным лучом должны приниматься в соответствии с таблицей Д.4.

Таблица Д.4

Технические требования и характеристики	Здания, длительное время эксплуатируемые, возводимые на скальных и полускальных грунтах	Здания и сооружения, возводимые на песчаных, глинистых и других сжимаемых, грунтах
Максимальная длина визирного луча, м	25	25
СКП превышения на станции $m\sqrt{n}$ мм	0,07	0,2
Допустимое неравенство расстояний от нивелира до реек, м	0,3	0,3

Окончание таблицы Д.4

Технические требования и характеристики	Здания, длительное время эксплуатируемые, возводимые на скальных и полускальных грунтах	Здания и сооружения, возводимые на песчаных, глинистых и других сжимаемых, грунтах
Допустимое расхождение превышений, полученных при двух горизонтах инструмента, мм	0,14	0,4
Допустимая невязка в полигоне, мм	$0,14\sqrt{n}$	$0,4\sqrt{n}$
СКП суммы превышений на 1 км хода, мм	0,3	1,0
Нивелирные хода прокладываются	Прямо, при двух горизонтах инструмента	

Д.2.4 Основные технические характеристики и допуски для высокоточного геометрического нивелирования специальных классов коротким визирным лучом должны приниматься в соответствии с таблицей Д.5.

Т а б л и ц а Д.5 – Технические характеристики геометрического нивелирования специальных классов

№ п/п	Наименования характеристик	Классы нивелирования			
		ГН-005	ГН-010	ГН-025	ГН-050
1	Предельная длина визирного луча, м	10	20	35	50
2	Оптимальная длина визирного луча, м	5–7	10–15	15–25	25–35
3	Неравенство длин визирных лучей на станции, м (не более)	0,05	0,10	0,20*–0,30	0,30*–0,50
4	Высота визирного луча над препятствием, м (не менее)	0,5	0,5	0,5	0,5
5	Число горизонтов 2	2	2	2	
6	Число направлений 2	1	1	1	
7	Точность отсчитывания по барабану плоскопараллельной пластинки, деления 0,1	0,1	1	1	
8	СКП определения (окончательного) превышения на станции, мм (не более)	0,05	0,10	0,25	0,50
* – первый показатель применяют при нивелировании по осадочным маркам, второй – по костылям; нивелирование ГН-005 и ГН-010 выполняют одной рейкой, а ГН-025 и ГН-050 – двумя рейками.					

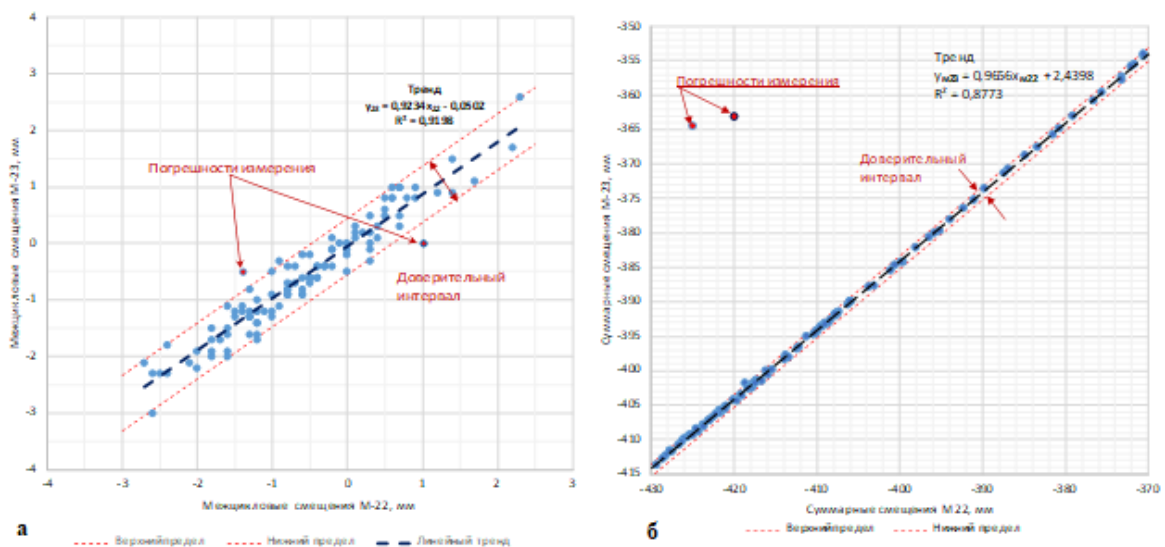
## Приложение Е (рекомендуемое)

### Визуально-аналитический способ анализа временных рядов

#### Е.1 Общие положения

Е.1.1 Визуально-аналитический способ основан на построении сопоставительных графиков в которых анализируются данные вертикальных смещений соседних марок.

Е.1.2 Анализ осуществляется по группировке точек на графике. В случае группировки в виде прямой, то вертикальные смещения деформационных марок соответствуют одному и тому же процессу (например, рисунок Е.1.1).



Δ

Р и с у н о к Е.1.1 – Сопоставительные графики а – межцикловых, б – суммарных вертикальных смещений соседних деформационных марок (м22 и м23)

Е.1.3 Диапазон уклонения полученных точек от прямой может характеризовать погрешность определения наблюдаемого значения с допустимым диапазоном равным СКП определения удаленной точки.

Е.1.4 Фактически группировка точек в прямую (или иную) функцию:

- является визуальным отражением прямой (или иной) функции, аналитическое описание которых может быть затруднено, а также, является визуализацией корреляционно-регрессионного анализа;

- дает возможность визуально определиться с суждением об однородности процесса деформаций, принимая во внимание то, что если группировка точек представляется прямой, то процесс, связанный с вертикальными смещениями, один и тот же; если группировка точек представляется кривой, то одна из сопоставимых марок находится под воздействием еще одного или



нескольких процесса.

Е.1.5 Построение сопоставительных графиков может осуществляться: по измеренным высотам, суммарным и межцикловым вертикальным смещениям. Следует учитывать, что различия между графиками межцикловых и суммарных смещений определяются диапазоном их смещений, как это показано на рисунках Е.1.1 (а и б).

## **Е.2 Возможности визуально-аналитического способа**

Е.2.1 По сопоставительным графикам между высотами деформационных марок легко определяются циклы, даты с перезакладкой деформационных марок. По значениям выделенных трендов при помощи линейной аппроксимации есть возможность определения параметров перезакладки.

Е.2.2 По сопоставительным графикам между межцикловыми вертикальными смещениями есть возможность определить точностные характеристики нивелировки, в том числе связанные с качеством постановки реек, прибора и установки марки.

Е.2.3 По сопоставительным графикам между суммарными вертикальными смещениями есть возможность оценить однородность протекания процесса деформации.

Е.2.4 Сопоставительные графики можно применять для комплексной оценки всех марок на однородность деформаций с условием того, что аргументом функции должен быть ряд, составленный из средних значений вертикальных смещений с равным количеством марок для каждого среднего.

Е.2.5 Сопоставительные графики могут быть использованы и при расчете значений на исходную для расчетов дату цикла измерений с ограничением на количество (не более 2), длину временного интервала (не более года) экстраполируемых значений, для двух рядом расположенных марок.

**Приложение Ж**  
**(рекомендуемое)**

**Формы ведомостей и графиков, используемых при анализе и прогнозе результатов  
геодезического мониторинга**

**Ж.1 Основные ведомости**

Ж.1.1 При построении таблиц местоположение строк и столбцов не жесткое и определяется целесообразностью и количеством данных.

Ж.1.2 На рисунке Ж.1 приведена комплексная ведомость с высотами, вертикальными смещениями и скоростями на последний цикл измерений. Такая ведомость используется в промежуточных или информационных отчетах.

Номер марки	Начальный цикл		Поправка, мм	Высота деформационной марки, мм			Осадка, см		Скорость осадки, мм/год		
	Дата	Высота, мм		Исходный цикл 1	8 цикл	9 цикл	суммар ная	межцик ловая	значение	начиная с	год стабильности
				18.10.2019	30.08.2021	01.12.2021					
<b>Блок 1</b>											
<i>00URX-01</i>	18.10.2019	154231,4	0	154231,4	154214,1	154212,2	-1,9	-0,2	-12,8	2020	
<i>00URX-02</i>	18.10.2019	154222,5	0	154222,5	154208,9	154208,1	-1,4		-6,8	2020	
<i>00URX-19</i>	18.10.2019	154235,6	0	154235,6	154221,4	154221	-1,5	0	-6,7	2020	
<i>00URX-20</i>	18.10.2019	154245,4	0	154245,4	154229,5	154227,5	-1,8	-0,2	-11,6	2020	
Среднее вертикальное смещение деформационных марок							-1,7	-0,1	-9,5	-	-
Средняя осадка фундамента							-1,7	-0,1	-8,6	2020	
Осадка максимальная							-1,9	-0,2	-12,8	-	-
<b>Блок 2</b>											
<i>00URX-03</i>	18.10.2019	154216,9	76	154292,9*	154274	154272,9	-2	-0,1	-9,8	2020	
<i>00URX-04</i>	18.10.2019	154224,1	0	154224,1	154209,8	154209	-1,5	-0,1	-6,3	2020	
<i>00URX-17</i>	18.10.2019	154228,1	0	154228,1	154215,1	154214,5	-1,4	-0,1	-5,8	2020	
<i>00URX-18</i>	18.10.2019	154233,4	8,7	154242,1*	154228,5	154227,5	-1,5	-0,1	-7,0	2020	
Среднее вертикальное смещение деформационных марок							-1,6	-0,1	-7,2	-	-
Средняя осадка фундамента							-1,6	-0,1	-7,2	2020	
Осадка максимальная							-2	-0,1	-9,8	-	-
Примечание - В графе «Поправка» содержится суммарное значение перезакладок в течение всего срока наблюдений и значение поправки за приведение к исходному циклу наблюдений											
* вычислено аналитически											

Рисунок Ж.1

Здесь следует отметить, что сооружение имеет блочное строение фундамента; высоты даны до десятых долей мм; осадка дана до десятых долей см.

Ж.1.3 На рисунке Ж.2 приведена комплексная ведомость координат и горизонтальных смещений опорной сети.

Пункт	Координаты, м						Расстояния от УЦ, м			Разности, мм	
	2010 (первый цикл)		2012 (пятый цикл)		2013 (шестой цикл)		1 цикл	5 цикл	6 цикл	суммарные	текущие
	А, м	Б, м	А, м	Б, м	А, м	Б, м	dS	dS	dS	уклонения	уклонения
пп0901	-60,162	1592,189	-60,167	1592,196	-60,167	1592,203	543,11	543,121	543,11	0	-11
пп0902	-58,115	1223,076	-58,119	1223,074	-58,121	1223,087	326,274	326,275	326,267	-8	-8
пп0903	-64,949	905,642	-64,953	905,629	-64,945	905,659	396,044	396,046	396,04	-4	-6
пп0904	-222,594	366,876	-222,589	366,867	-222,567	366,905	798,555	798,557	798,54	-15	-17
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
пп0926	-404,804	226,414	-404,806	226,405	-404,779	226,445	924,542	924,543	924,519	-23	-23
пп0928	-719,209	246,143	-719,207	246,124	-719,161	246,158	967,228	967,236	967,206	-22	-30
пп0929	1128,911	-348,81	1128,904	-348,861	1128,908	-348,783	2124,474	2124,501	2124,457	-17	-44
Координаты условного центра (УЦ)	-376,218	1150,514	-376,221	1150,506	-376,216	1150,523					
Уклонения УЦ по циклам	0	0	-0,003	-0,008	0,003	0,009					

Рисунок Ж.2

## Ж.2 Анализ средних показателей

Ж.2.1 К средним показателям относятся средняя осадка и относительный крен.

Ж.2.2 При необходимости в приложении к отчету могут быть даны соответствующие ведомости. Однако в практике обычно используется графическое представление данных.

Ж.2.3 На рисунке Ж.3 дан график средних суммарных вертикальных смещений фундаментов одного из анализируемых объектов, показаны компоненты наблюдаемого процесса осадки фундаментов, определенные из анализа временного ряда средних вертикальных смещений.

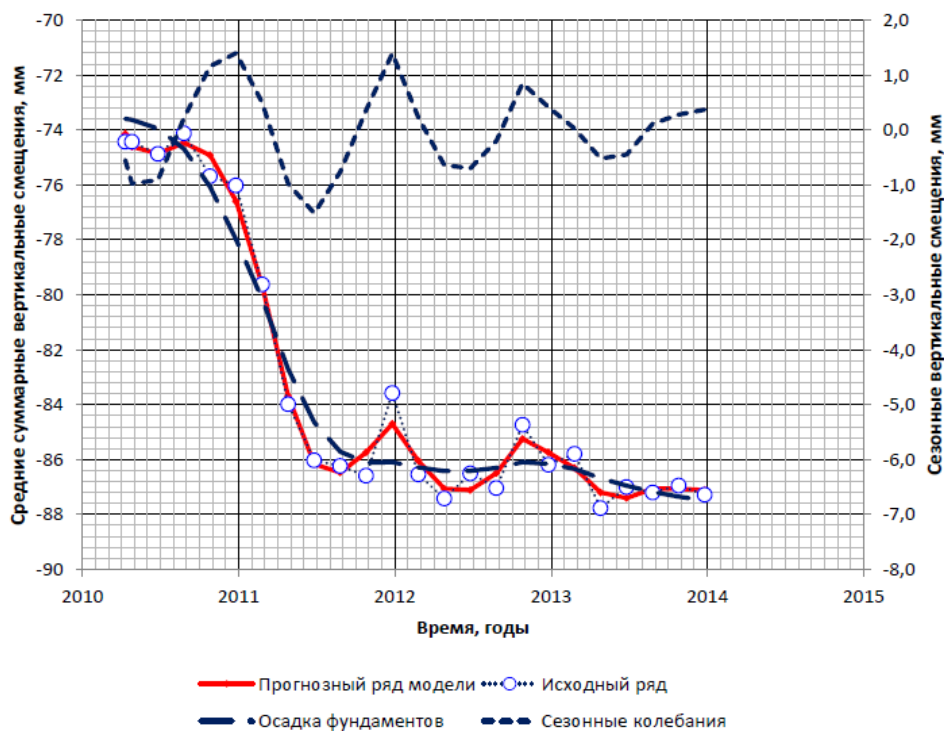


Рисунок Ж.3 – График средних суммарных смещений фундаментов и их компоненты

Ж.2.4 В том случае, если анализ временных рядов не предусмотрен ПГМ, то в качестве графика средней осадки показываются вычисленные значения средних вертикальных смещений и трендовая

составляющая, определенная при помощи скользящего среднего (например, как показано на рисунке Ж.4 по пяти членам ряда).

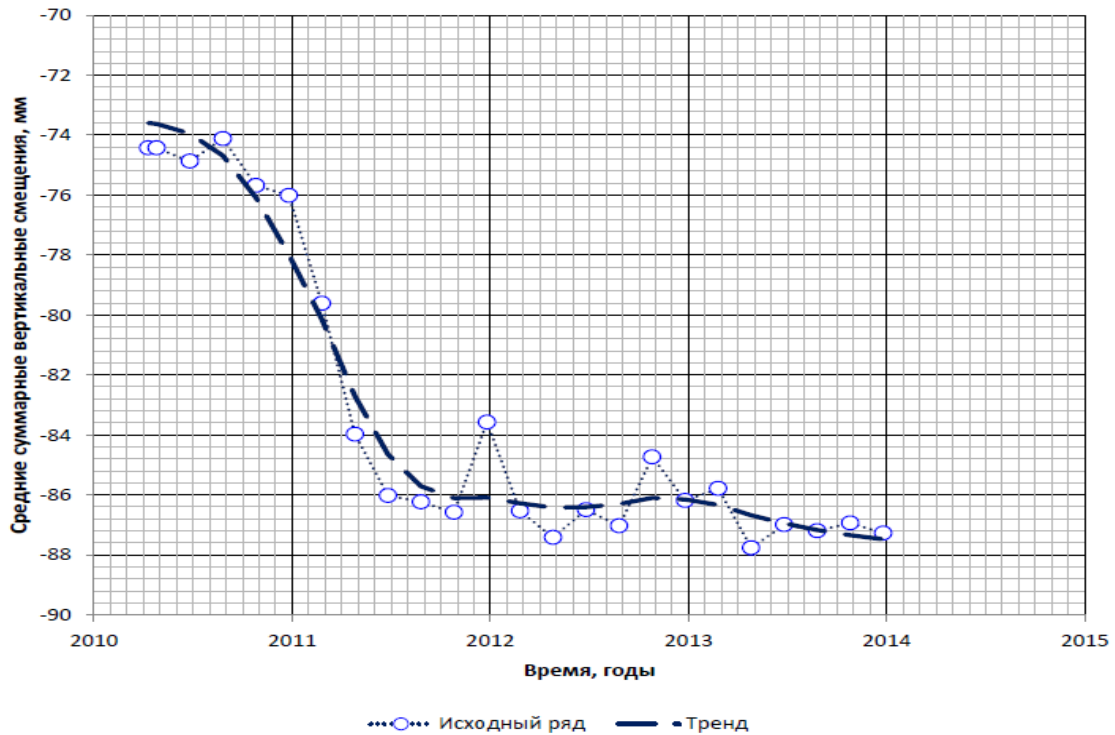


Рисунок Ж.4 – График средних суммарных смещений фундаментов

Ж.2.5 Для оценки наступления фазы стабилизации осадки графики средней осадки могут быть совмещены с графиком изменения скорости средних вертикальных смещений (рисунок Ж.5).

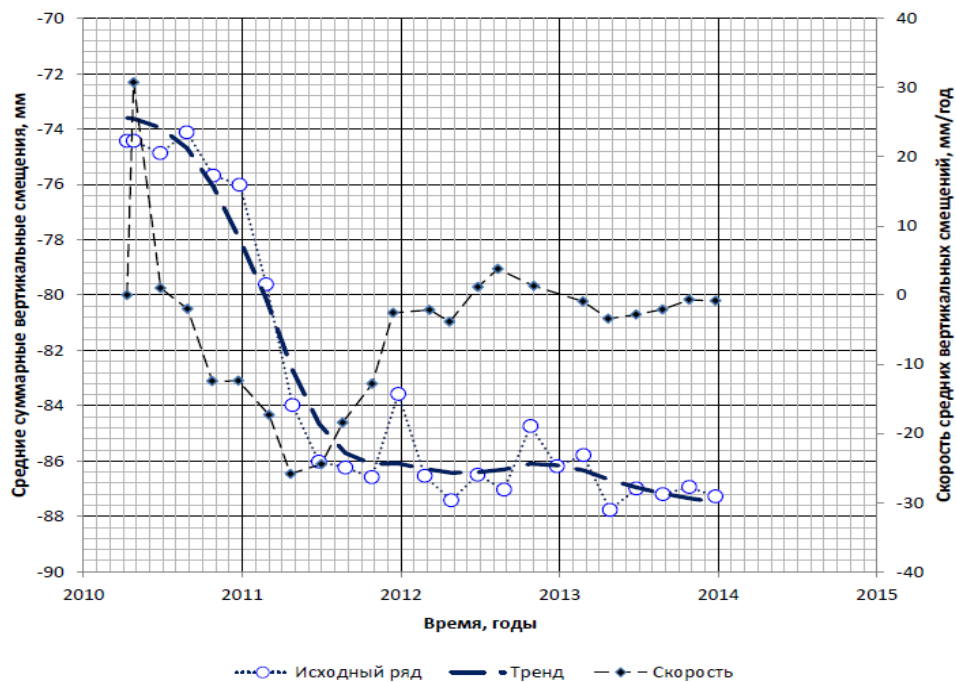


Рисунок Ж.5 – График средних суммарных вертикальных смещений и скоростей вертикальных смещений фундаментов

Ж.2.6 При необходимости графики средней осадки совмещают с графиками скоростей и контролируемые параметрами (рисунок Ж.6).

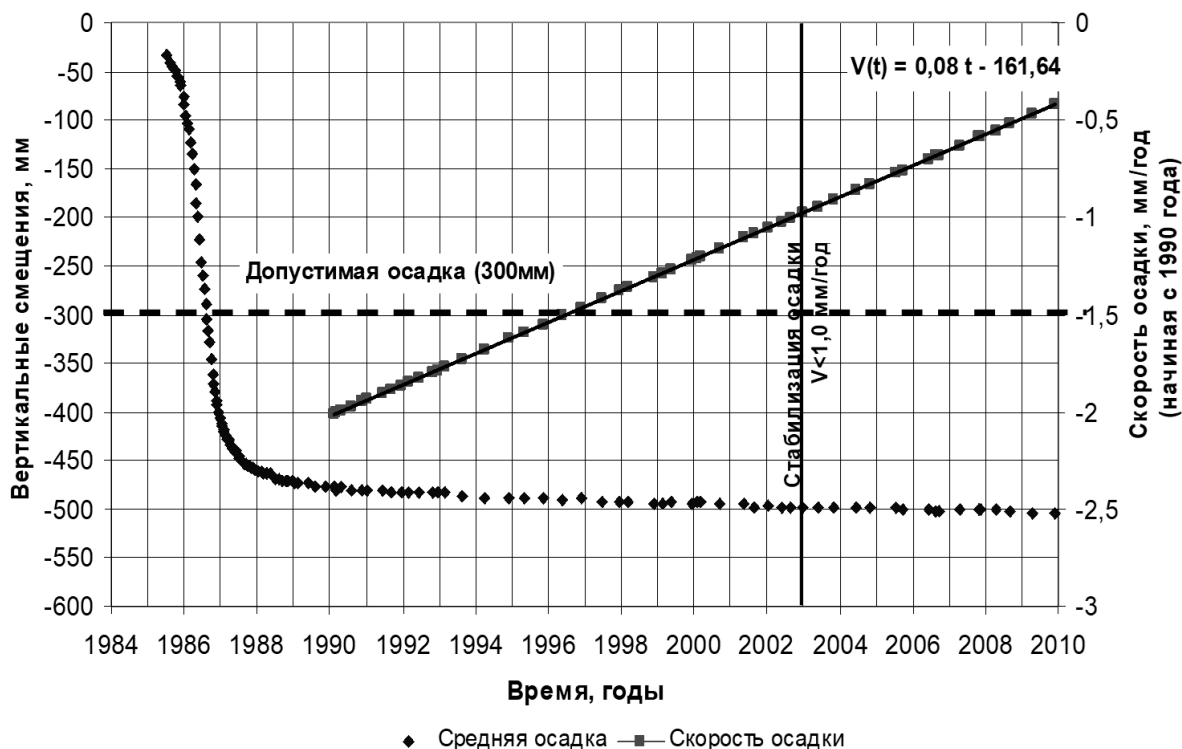


Рисунок Ж.6 – График средних суммарных вертикальных смещений деформационных марок фундаментов

### Ж.3 Показатели максимального типа

Ж.3.1 К показателям максимального типа относятся: максимальная осадка, максимальная относительная разность осадки.

Ж.3.2 Максимальная осадка и максимальная относительная разность осадки иллюстрируются графиками соответствующих изолиний, ортографическими проекциями и профилями в заданном направлении.

Ж.3.3 На рисунке Ж.7 дан график изолиний суммарных вертикальных смещений деформационных марок фундамента одного из объектов.

Ж.3.4 График изолиний выполняется в соответствии с требованиями к проведению горизонталей на планах и картах. Сечение изолиний вертикальных смещений зависит от неравномерности вертикальных смещений и может быть, например, 0,5 мм; 1,0 мм; 2,0 мм; 5,0 мм.

Ж.3.5 На графике показывается местоположение геодезических знаков и рядом с ними в виде дроби показываются: в числителе – идентификатор геодезического знака, в знаменателе – величина наблюдаемого параметра.

При необходимости вместе с графиком изолиний даются поясняющие разрезы и профили.

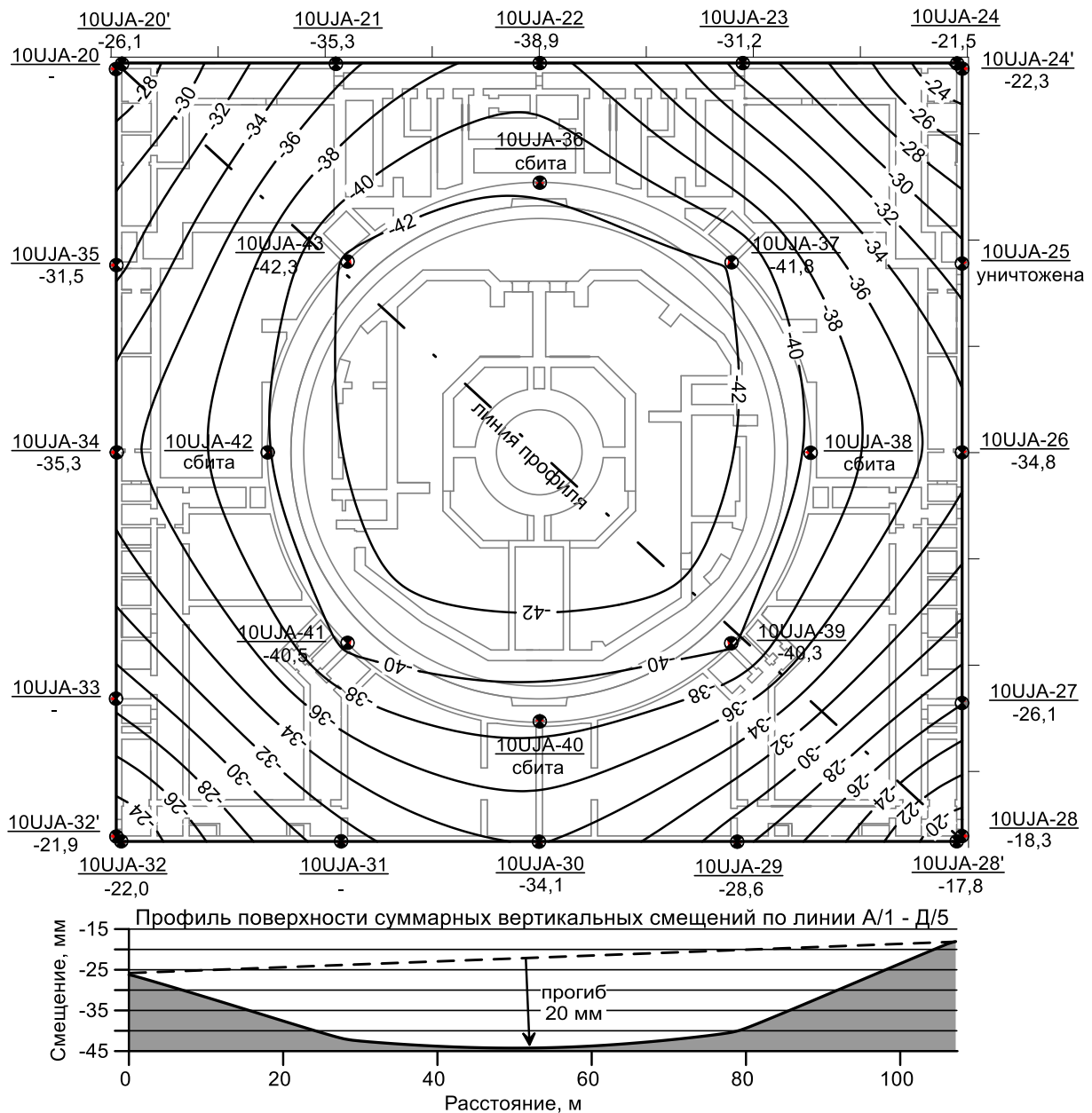


Рисунок Ж.7 – График изолиний суммарных вертикальных смещений и профиль поверхности суммарных вертикальных смещений фундаментов

Ж.3.6 В отдельных случаях при необходимости графики изолиний суммарных вертикальных смещений дополняются их ортографической проекцией, что позволяет оценить форму и распространение наблюдаемого параметра (рисунок Ж.8).

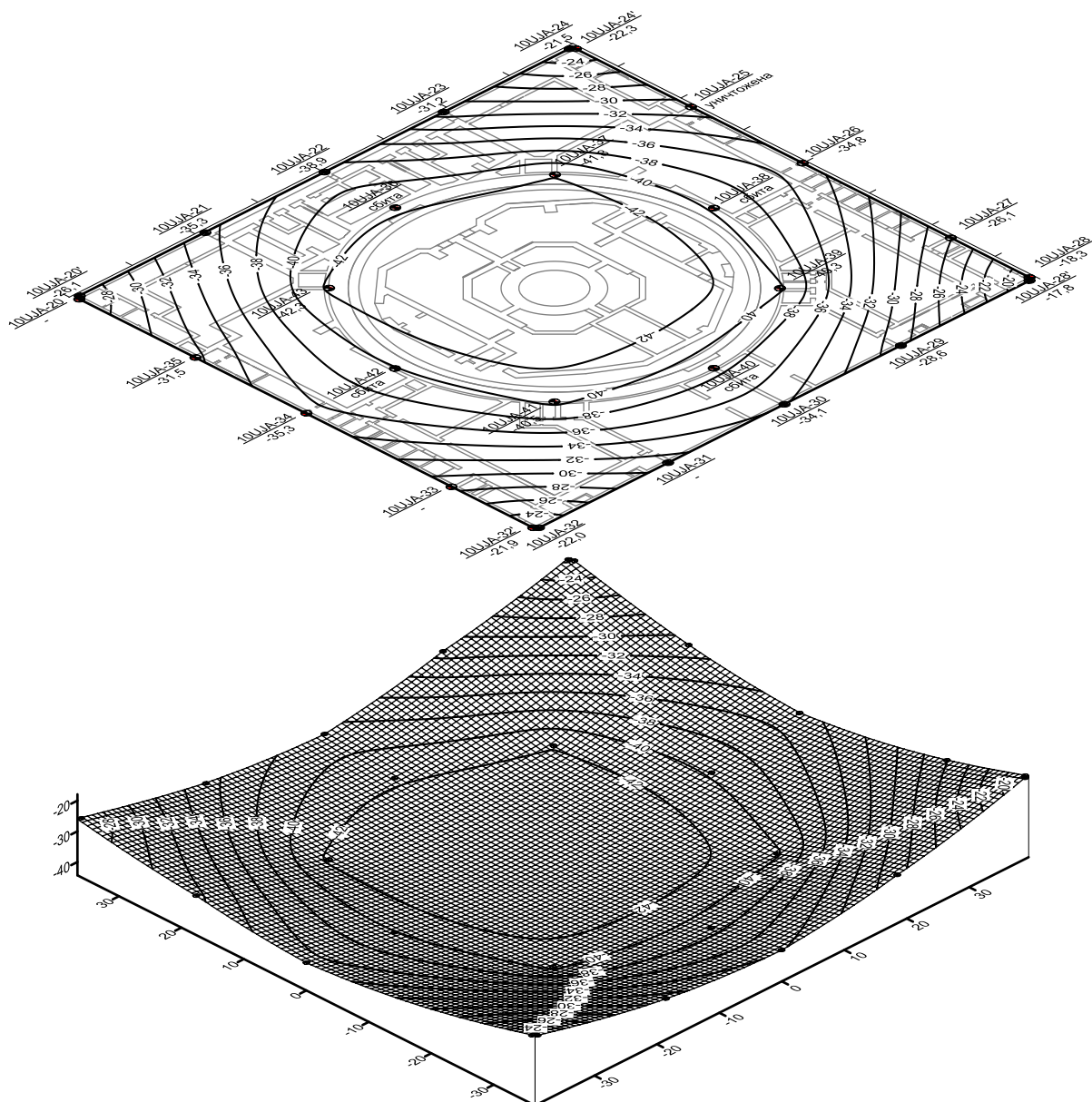


Рисунок Ж.8 – Ортографическая проекция поверхности суммарных вертикальных смещений деформационных марок

Ж.3.7 Числовые характеристики относительной разности осадок рекомендуется показывать в табличном матричном виде.

В таблице Ж.1 дана матрица определения относительной неравномерности между марками наблюдаемого объекта. Матрица получена из уравнения:

$$M_{i,j} = \frac{|(\Delta S_{i,t}) - (\Delta S_{j,t})^T|}{\sqrt{(X_i - X_j^T)^2 - (Y_i - Y_j^T)^2}} \quad (\text{Ж.3.1})$$

где  $\Delta S_{i,t}$  – вектор суммарных вертикальных смещений из  $i = n$  деформационных марок, мм;

$X_i$  и  $Y_i$  – координаты деформационных марок, м.

В таблице приведены значения только сопряженных между собой строительных конструкций

Таблица Ж.1 – Матрица определения относительной разности осадки между марками

Номер марки	Относительная разность осадки, мм/м между марками										
	м1	м2	м3	м4	м5	м6	м10	м11	м12	м13	м14
м1	0	0,9						0,3			
м2	0,9	0	0,8								
м3		0,8	0	0,6							
м4			0,6	0	0,4						
м5				0,4	0	0,2					
м6					0,2	0	0,2				
м10						0,2	0	0,8			
м11	0,3						0,8	0	0,6		
м12								0,6	0	0	
м13									0	0	1,3
м14										1,3	0

Ж.3.8 Для иллюстрации распространения относительной разности осадок, сравниваемой с предельными и предельно-допустимыми величинами, рекомендуется использовать графики изолиний суммарных смещений вместе с графиком изолиний относительной разности осадок. Построение изолинии относительной разности осадок выполняется по вычисленным значениям из разности суммарных смещений пары деформационных марок и их усредненными координатами (рисунок Ж.9).

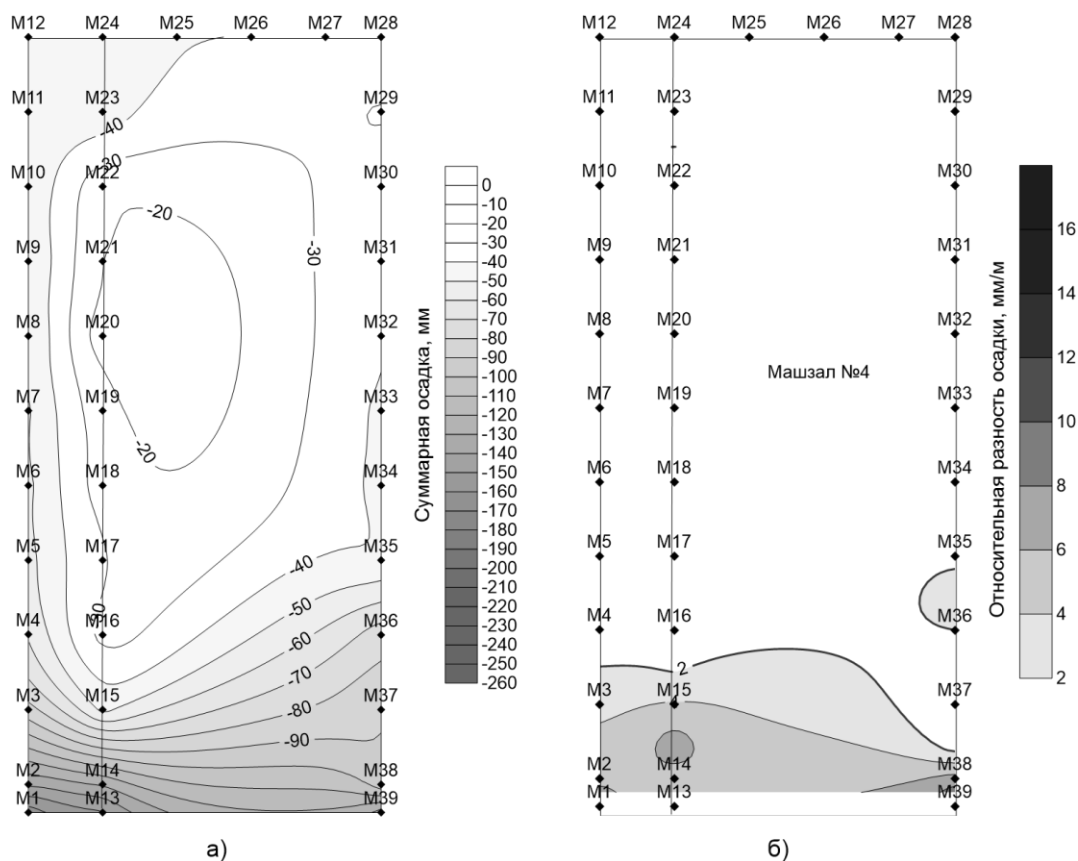


Рисунок Ж.9 – Графики изолиний а) суммарных вертикальных смещений деформационных марок,



Ж.3.9 В случае необходимости определения скорости распространения относительной разности осадок, сравниваемой с предельными и предельно-допустимыми величинами, рекомендуется использовать графики изолиний относительной разности осадки, по которым вычисляется площадь распространения на каждый цикл измерений.

При этом за основу для вычисления принимается разность площадей по циклам измерений и средняя (в двух циклах) длина изолинии, отсекающая эту площадь (рисунок Ж.10). Полученные величины анализируются в соответствии с требованиями анализа временных рядов и иллюстрируются ведомостями и графиками как для средних показателей.

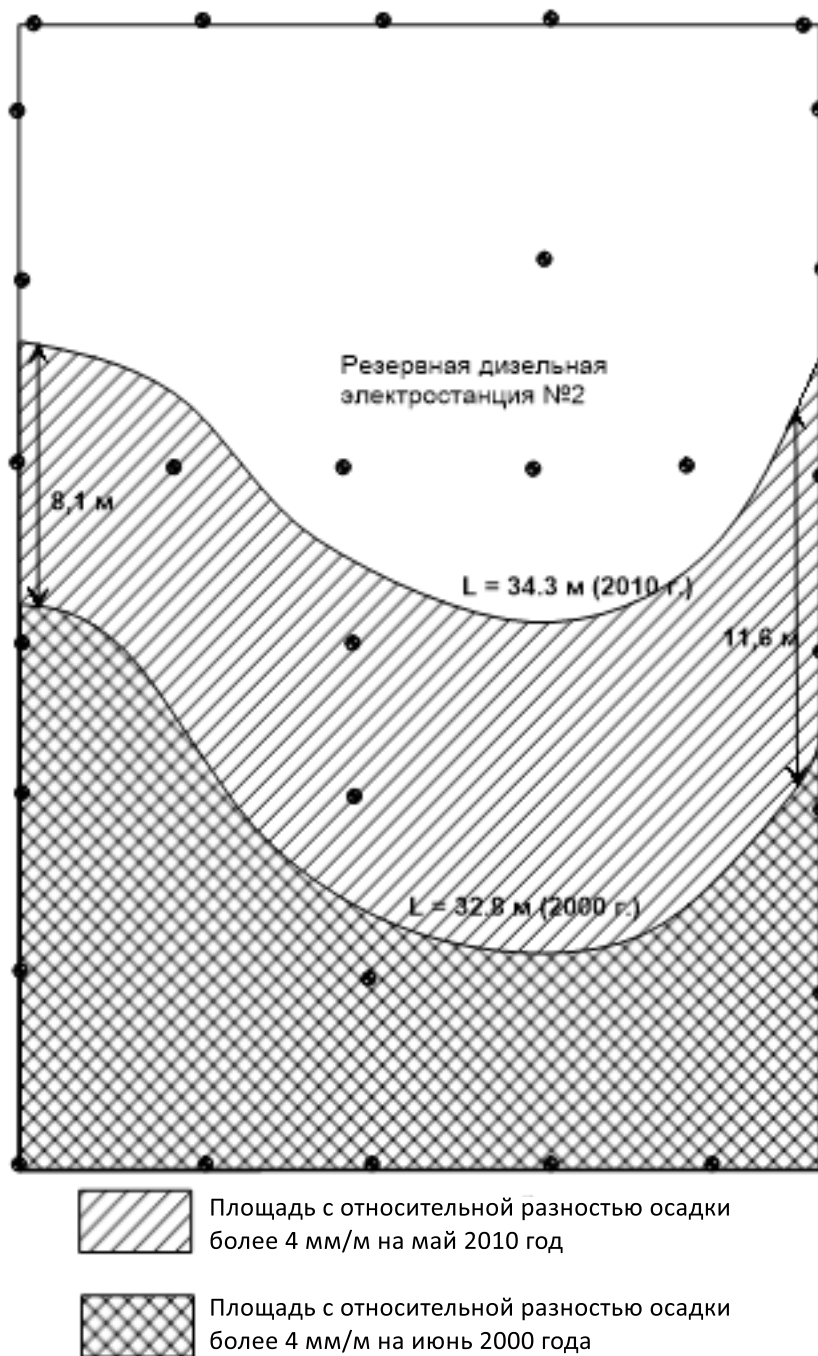


Рисунок Ж.10 – Схема определения скорости распространения зоны с относительной разностью менее 4 мм/м

Ж.3.10 Если производится анализ относительного крена высотного сооружения, определенного при помощи линейно-угловых измерений, то в ведомости указываются компоненты крена и его направление. В таблице Ж.2 дана ведомость накопления крена и его направления наблюдаемого высотного объекта.

Т а б л и ц а Ж .2 – Ведомость накопления крена и его направления

Дата	Координаты, м				Крен			
	верх		низ		линейный, м	угловой, ...°...′...″	относительный, м/м	Направление, ...°
	Д	Е	Д	Е				
май.87	1105,002	842,145	1105,007	842,058	0,0871	0° 04' 17"	0,0012	93
сен.87	1105,050	842,149	1105,010	842,072	0,0868	0° 04' 16"	0,0012	63
дек.87	1105,050	842,119	1105,031	842,056	0,0658	0° 03' 14"	0,0009	73
июн.88	1105,059	842,145	1105,031	842,085	0,0662	0° 03' 15"	0,0009	65
ноя.88	1105,046	842,104	1105,018	842,075	0,0403	0° 01' 59"	0,0006	46
май.89	1105,048	842,176	1105,022	842,076	0,1033	0° 05' 04"	0,0015	75
...	...	...	...	...	...	...	...	...
сен. 09	1105,004	842,078	1104,998	842,025	0,053	0°02'37"	0,0008	84
сен. 10	1105,002	842,062	1104,994	842,022	0,041	0°02'01"	0,0006	79
сен. 11	1104,989	842,071	1104,979	841,998	0,074	0°03'38"	0,0011	82
сен. 12	1105,011	842,095	1104,988	842,044	0,056	0°02'45"	0,0008	66

Приведенные данные иллюстрируются соответствующими графиками (рисунок Ж.3.11)

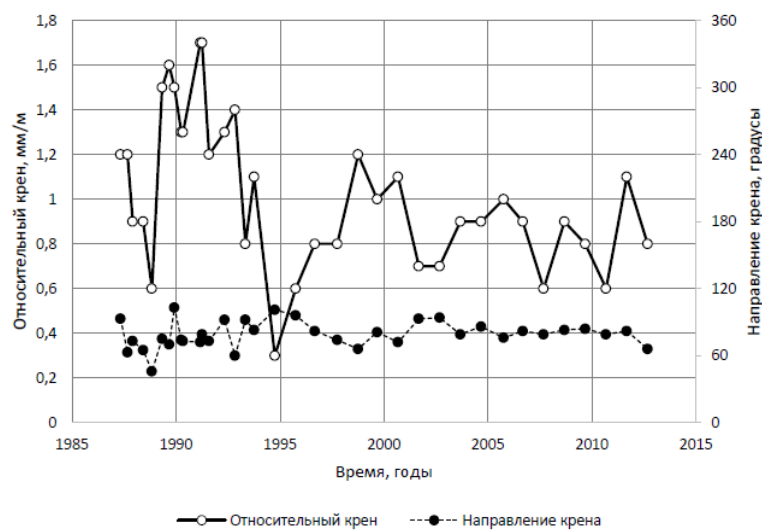


Рисунок Ж.11 – График приращения относительного крена и его направления

### Ж.4 Профили

Ж.4.1 К профильным построениям относятся построения, связанные с измерениями на линейных объектах (эстакады, дамбы, трубопроводы), а также при необходимости показывать продольные и поперечные крены строительных конструкций зданий и сооружений.

Ж.4.2 На рисунке Ж.12 показан профиль вертикальных смещений, скоростей вертикальных смещений, продольных и поперечных относительных кренов эстакады.

Рекомендуется вместе с числовыми данными иллюстрировать профили схемами положения анализируемого объекта.

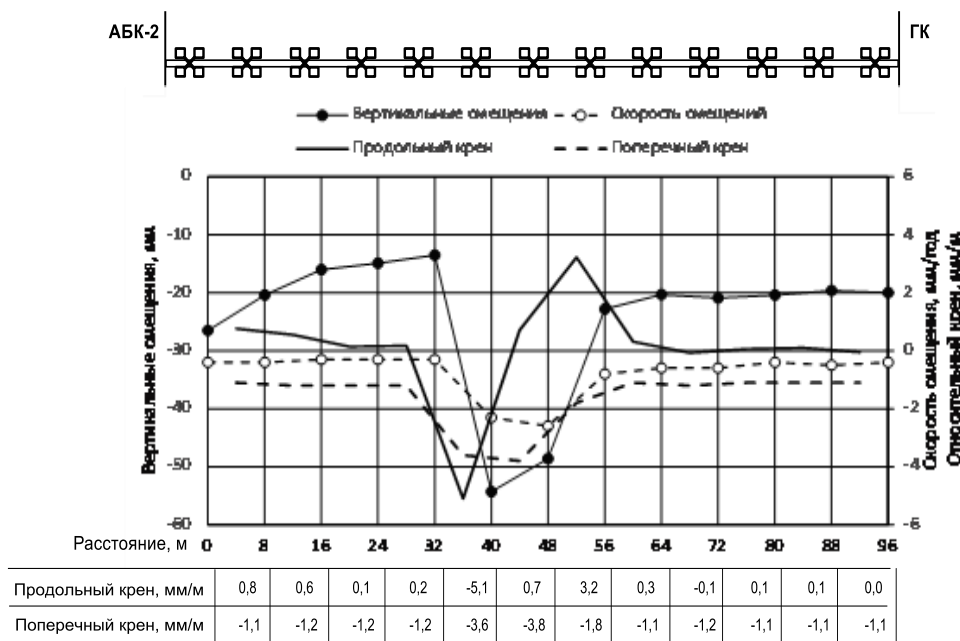


Рисунок Ж.12 – Профиль вертикальных смещений, скоростей, продольных и поперечных относительных кренов

И.4.3 На рисунке Ж.13 дан график прогибов оси валопровода турбоагрегата, определяемый по положению изолиний суммарных смещений.

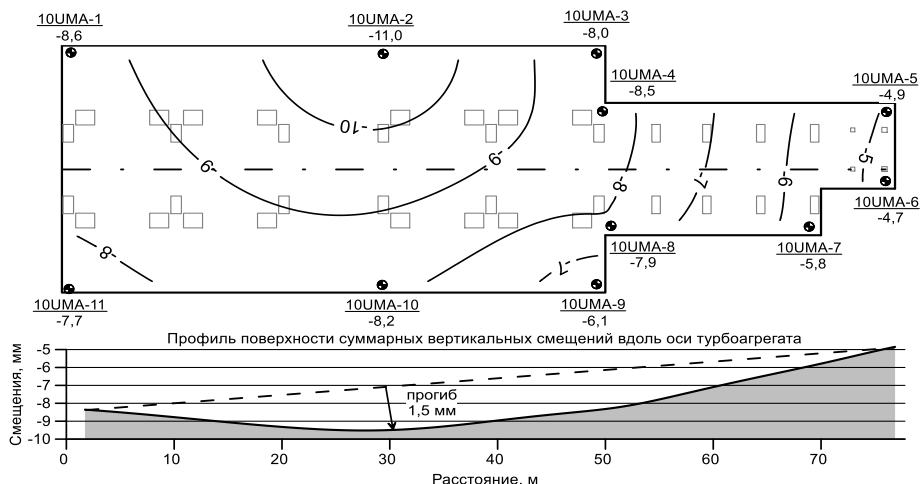


Рисунок Ж.13 – Схема изолиний суммарных вертикальных смещений деформационных марок нижней фундаментной плиты здания турбины и профиль в проекции оси валопровода турбоагрегата

При необходимости для иллюстрации прогиба/выгиба выполняют ортографическую проекцию (рисунок Ж.14), а также схему продольных и поперечных кренов (рисунок Ж.15).

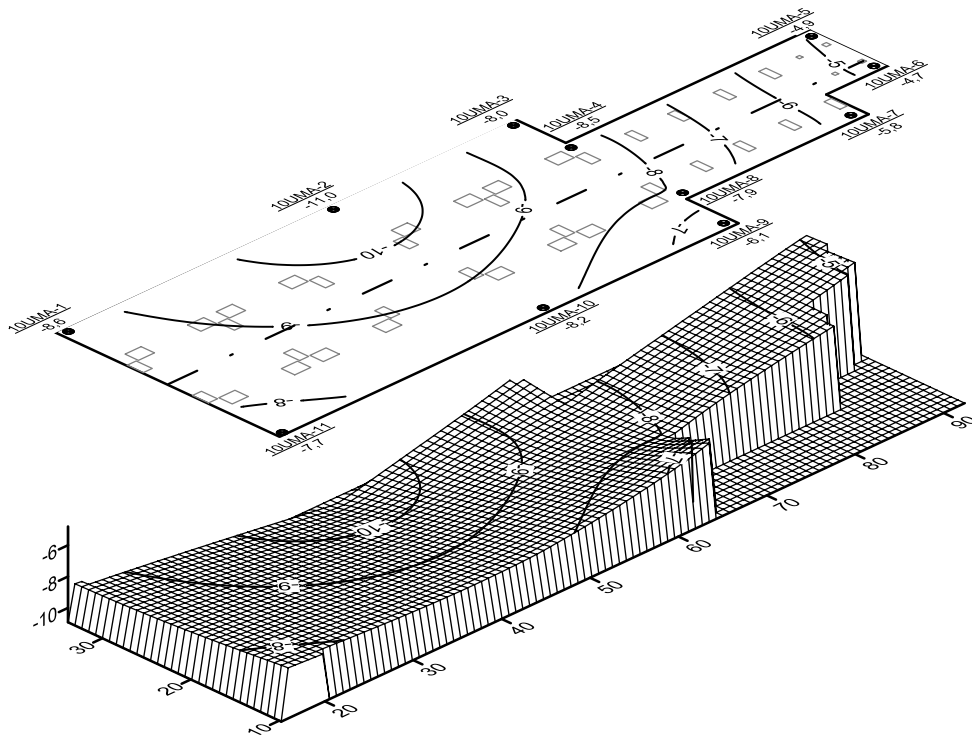


Рисунок Ж.14 – Ортографическая проекция поверхности суммарных вертикальных смещений деформационных марок нижней фундаментной плиты здания турбины

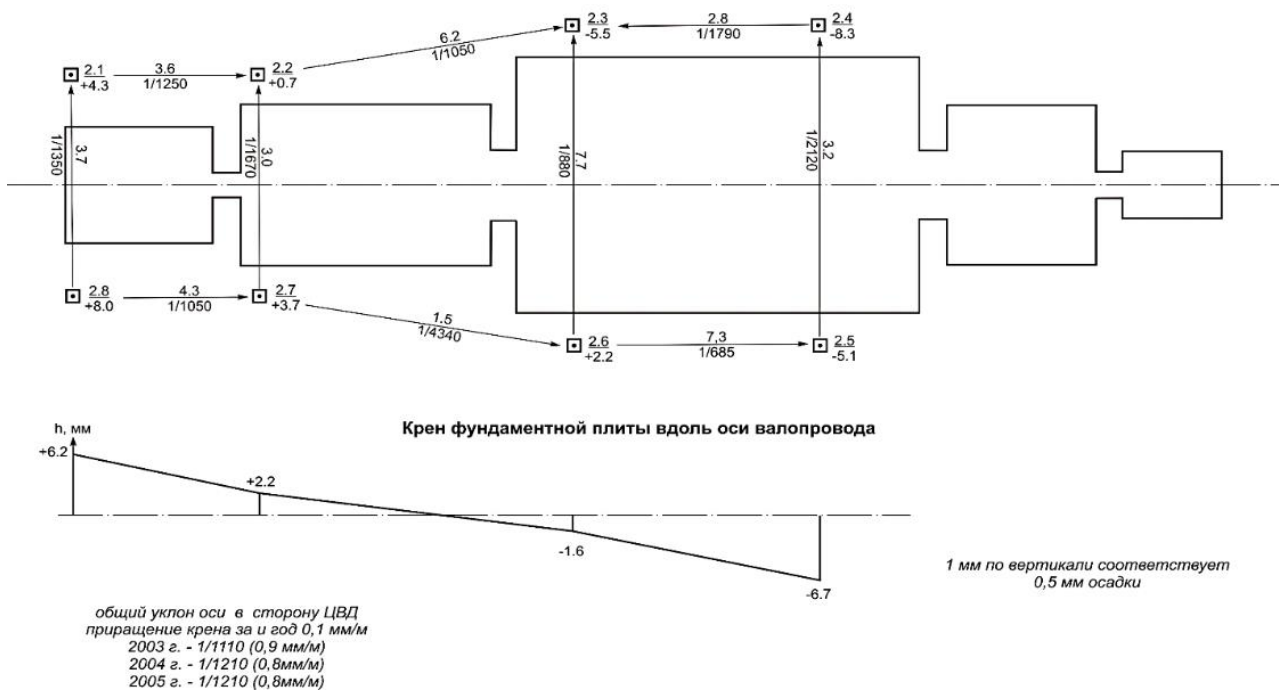


Рисунок Ж.15 – Схема продольных и поперечных кренов верхней фундаментной плиты турбоагрегата

Ж.4.4 На рисунке Ж.16 дан комбинированный профиль суммарных вертикальных смещений, скоростей вертикальных смещений и рельефа ограждающей дамбы водохранилища.

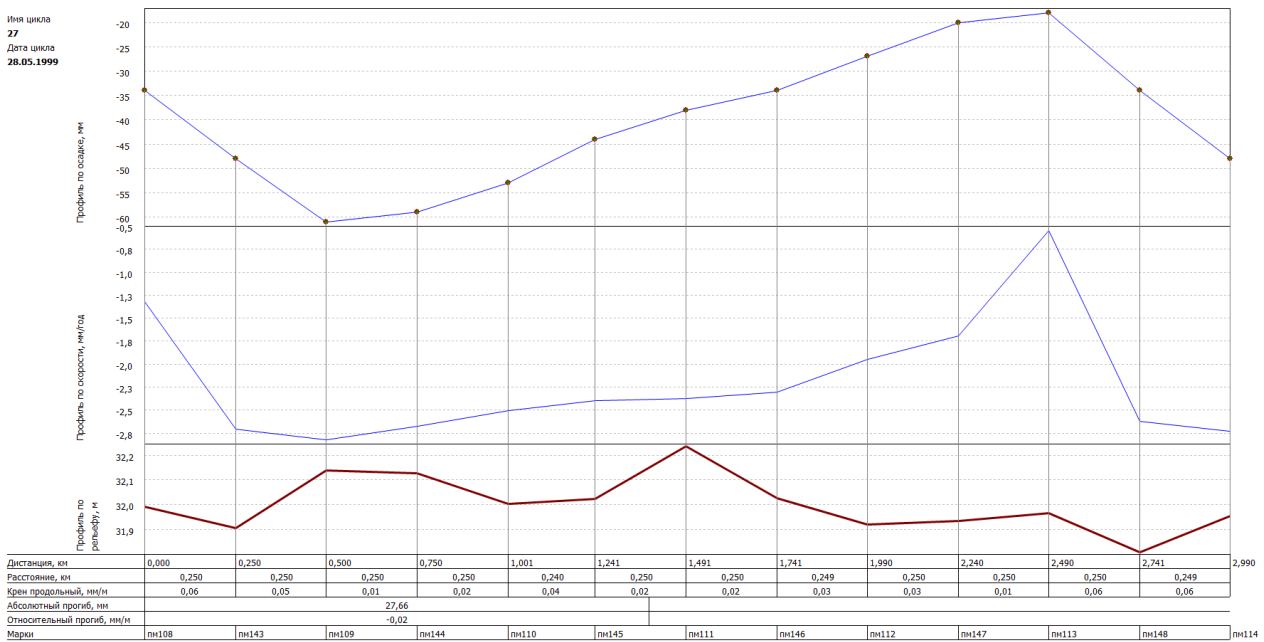


Рисунок Ж.16 – Профиль линии повторного высокоточного нивелирования ограждающей дамбы водохранилища по данным 9 циклов измерений (1990–1999)

## Приложение И (справочное)

### Оценка устойчивости опорной геодезической сети

#### И.1 Оценка устойчивости опорной высотной сети по вертикальным смещениям реперов в двух циклах измерений

И.1.1 Оценка устойчивости опорной высотной сети производится по вертикальным смещениям  $\Delta H_{i,k}$  реперов ( $i$ ) двух циклов ( $k$ ) измерений от средней плоскости путем выбора наименьшего ряда из средних вертикальных смещений всех реперов при поочередном выборе каждого репера в качестве исходного.

И.1.2 Получение величин  $\Delta H_{i,k}$  равнозначно вычислению изменений всех превышений между реперами в  $i$ -ом цикле по отношению к первому.

И.1.3 В матричном виде процедура выбора описывается матрицей

$$\Delta H - \Delta H^T = \begin{vmatrix} 0 & \Delta H_{12} & \Delta H_{13} & \dots & \Delta H_{1n} \\ \Delta H_{21} & 0 & \Delta H_{23} & \dots & \Delta H_{2n} \\ \Delta H_{31} & \Delta H_{32} & 0 & \dots & \Delta H_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta H_{n1} & \Delta H_{n2} & \Delta H_{n3} & \dots & 0 \end{vmatrix}, \quad (\text{И.1.1})$$

где  $\Delta H$  – одностробцовая матрица вертикальных смещений реперов при условии того, что один из реперов принят за исходный репер.

В матрице (И.1.1) элементы одной строки (столбца) – это вертикальные смещения реперов, определенные от одного и того же исходного репера (первый индекс, второй индекс), разного для каждой строки (столбца).

И.1.4 Выбор исходного репера производится по наименьшему из средних по каждому из столбцов (строк).

И.1.5 Величина среднего по каждому столбцу показывает насколько изменяется положение средней плоскости всех реперов за исключением выбранного за устойчивый (исходный).

Т а б л и ц а И . 1 . 1 – Матрица оценки устойчивости по оценкам вертикальных смещений

Наименование репера	Рп 1	Рп 2	Рп 3	Рп 4	Рп 5	Рп 6	Рп 7
Рп 1	0,0	4,6	2,8	2,7	1,1	2,4	1,0
Рп 2	-4,6	0,0	-1,8	-1,9	-3,5	-2,2	-3,6
Рп 3	-2,8	1,8	0,0	-0,1	-1,7	-0,4	-1,8
Рп 4	-2,7	1,9	0,1	0,0	-1,6	-0,3	-1,7

## Окончание таблицы И.1.1

Наименование репера	Рп 1	Рп 2	Рп 3	Рп 4	Рп 5	Рп 6	Рп 7
Рп 5	-1,1	3,5	1,7	1,6	0,0	1,3	-0,1
Рп 6	-2,4	2,2	0,4	0,3	-1,3	0,0	-1,4
Рп 7	-1,0	3,6	1,8	1,7	0,1	1,4	0,0
Среднее	-2,1	2,5	0,7	0,6	-1,0	0,3	-1,1
Обратное среднее	2,1	-2,5	-0,7	-0,6	1,0	-0,3	1,1

И.1.6 Величина обратная среднему из каждого столбца может использоваться как показатель вертикального смещения выбранного репера по отношению ко всем остальным высотам.

И.1.7 По величинам обратных средних смещений строится карта с изолиниями суммарных (междикловых или текущих) вертикальных смещений и/или их скоростей.

И.1.8 Суждение о стабильности положения реперов делается на основе анализа величин  $S_{cp}$ , которые оцениваются с помощью неравенства

$$|\Delta H_{cp.}| > \mu t \sqrt{p_{s.cp.}} \quad (\text{И.1.2})$$

где  $t$  – критерий предельных погрешностей;

$\mu$  – средняя квадратическая ошибка единицы веса;

$p_{s.cp.}$  – обратный вес величины  $S_{cp.}$

И.1.9 Соблюдение неравенства (И.1.2) свидетельствует о том, что репер получил смещение, превышающее ошибки измерений. Сохранившими свое положение по высоте считаются те реперы, для которых величина

$$|\Delta H_{cp.}| \leq \mu t \sqrt{p_{s.cp.}} \quad (\text{И.1.3})$$

И.1.10 Если среди таких реперов находится репер, принятый в качестве исходного в предыдущих циклах, то он принимается исходным и в данном цикле измерений. Если же установлено, что этот репер получил смещение, то в качестве исходного выбирается один из реперов, сохранивших неизменной свою высоту. Для обеспечения связи с результатами наблюдений, полученными в прежних циклах, следует использовать его отметку из предыдущего цикла.

## И.2 Оценка устойчивости опорной высотной сети по скоростям вертикальных смещений реперов

И.2.1 Исходными данными для оценки устойчивости опорной сети являются:

- схема ходов повторного нивелирования с рекомендуемым для свободного уравнивания условием того, что ходы повторного нивелирования представляют собой систему замкнутых полигонов и одиночный замкнутый полигон;

- временные ряды измеренных превышений по ходам повторного нивелирования  $\{h_{i,j}; t_k, x_i \text{ и } y_i, x_j \text{ и } y_j, L_{i,j}, n_{i,j}\}$ , где  $h_{i,j}$  – превышение между реперами с номерами  $i$  и  $j$  с координатами  $x_i$  и  $y_i$ , и соответственно  $x_j$  и  $y_j$ ,  $L_{i,j}$  – измеренное (вычисленное) расстояние в ходе между реперами,  $n_{i,j}$  – среднее (по циклам) число штативов в ходе.

И.2.2 По временному ряду  $\{h_{i,j}; t_k\}$  определяется скорость изменения превышения  $v_{i,j}$  в ходе при помощи линейной аппроксимации  $h(t)_{i,j} = h(0)_{i,j} + v_{i,j}t$ . Полученные величины  $v_{i,j}$  определяются для всех линий повторного нивелирования.

И.2.3 Принимая во внимание то, что сумма скоростей изменений превышений в любом замкнутом полигоне должна быть равна нулю  $\sum v_{i,j} = 0$  выполняется уравнивание при этом каждому ходу присваивается вес  $p_{i,j}$ .

$$p_{i,j} = \frac{m_h \sqrt{2n}}{T\sqrt{k}}, \quad (\text{И.2.1})$$

или

$$p_{i,j} = \frac{m_L \sqrt{2L}}{T\sqrt{k}}, \quad (\text{И.2.2})$$

где  $m_h$  и  $m_L$  – СКП определения превышения на 1 штатив или 1 км двойного хода;

$n$  и  $L$  – число штативов в ходе, или длина хода, км;

$T$  – количество лет наблюдений за превышением;

$k$  – количество циклов повторного нивелирования.

И.2.4 После уравнивания одному из реперов с номером  $i$  присваивается значение скорости вертикальных смещений равное нулю ( $V_i$ ).

И.2.5 По уравненным скоростям изменения превышений  $v_{ij}$  в ходах повторного нивелирования по всем реперам определяются скорости вертикальных смещений для всех остальных реперов по формуле

$$V_{j(i)} = V_i + v_{ij}. \quad (\text{И.2.3})$$

И.2.6 В результате этой процедуры должна быть получена матрица скоростей вертикальных смещений для всех реперов сети с условием того, что каждый из реперов принимается за исходный. В матричном виде для электронных табличных процессоров такая процедура может выражена уравнением

$$V_{i,j} = V_{j(i)} - V_{j(i)}^T = \begin{vmatrix} V_{0,0} & V_{0,1} & \dots & V_{0,n-1} & V_{0,n} \\ V_{1,0} & V_{1,1} & \dots & V_{1,n-1} & V_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{n-1,0} & V_{n-1,1} & \dots & V_{n-1,n-1} & V_{n-1,n} \\ V_{n,0} & V_{n,1} & \dots & V_{n,n-1} & V_{n,n} \end{vmatrix}, \quad (\text{И.2.4})$$



где  $V_{j(i)}$  – одностолбцовая матрица скоростей вертикальных смещений реперов при условии того, что репер с номером  $i$  принят за исходный и ему присвоена скорость вертикальных смещений  $V_i = 0$ .

И.2.7 В полученной квадратной матрице с  $i = N$  числом строк и столбцов все диагональные элементы равны нулю.

И.2.8 По каждому столбцу (строке) матрицы  $V_{i,j}$  определяется среднее значение  $\bar{V}_{i,j}$ . При этом следует учесть, что полученное среднее значение скорости вертикальных смещений  $\bar{V}_{i,j}$  определено при условии, когда репер с номером  $i$  считается устойчивым и не имеет ни каких смещений.

И.2.9 Таких значений средних вертикальных смещений будет  $N$  элементов. В каждом своем случае полученные значения будут характеризовать смещения знаков опорной сети относительно принятого за исходный.

Подставив обратный знак полученному значению  $-\bar{V}_{i,j}$  можно оценить насколько смещается исходный знак относительно всей опорной сети. Для примера ниже приведена таблица И.2.1

Т а б л и ц а И.2.1 Пример оценки устойчивости реперов опорной сети по скоростям вертикальных смещений

Наименование репера	Средняя скорость вертикальных смещений по реперам, мм/год								
	Рп 1	Рп 2	Рп 3	Рп 4	Рп 5	Рп 6	Рп 7	Рп 8	-0,16
Рп 1	0	-0,23	0,23	0,21	0,05	-0,7	-0,67	-0,18	0,07
Рп 2	0,23	0	0,46	0,44	0,28	-0,47	-0,44	0,05	-0,39
Рп 3	-0,23	-0,46	0	-0,02	-0,18	-0,93	-0,9	-0,41	-0,37
Рп 4	-0,21	-0,44	0,02	0	-0,16	-0,91	-0,88	-0,39	-0,21
Рп 5	-0,05	-0,28	0,18	0,16	0	-0,75	-0,72	-0,23	0,54
Рп 6	0,7	0,47	0,93	0,91	0,75	0	0,03	0,52	0,51
Рп 7	0,67	0,44	0,9	0,88	0,72	-0,03	0	0,49	0,02
Рп 8	0,18	-0,05	0,41	0,39	0,23	-0,52	-0,49	0	-0,16
$\bar{V}_{i,j}$	0,16	-0,07	0,39	0,37	0,21	-0,54	-0,51	-0,02	
$-\bar{V}_{i,j}$	-0,16	0,07	-0,39	-0,37	-0,21	0,54	0,51	0,02	

В приведенном примере наиболее удовлетворяющим условиям исходного репера является Рп 8, определенный из условия минимума средней скорости вертикальных смещений  $V_{\text{ср.пл.}}$ , полученных в виде матрицы ( $N \times N$  из числа реперов с нулевой диагональю).

$$V_{\text{ср.пл.}} = -\frac{1}{N} \sum \frac{(V_{i \neq N} - V_{i \neq N}^T)}{N-1} \Rightarrow 0, \quad (\text{И.2.5})$$

где,  $V_{i \neq N} - V_{i \neq N}^T$  – матрица скоростей вертикальных смещений реперов, образованная при перерасчете всех вариантов принятия каждого из реперов за исходный.

$$V_{\text{ср.пл.}} = |V_0 \ V_1 \ \dots \ V_{n-1} \ V_n| \times \left| \begin{array}{c} V_0 \\ V_1 \\ \dots \\ V_{n-1} \\ V_n \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccccc} V_{0,0} & V_{0,1} & \dots & V_{0,n-1} & V_{0,n} \\ V_{1,0} & V_{1,1} & \dots & V_{1,n-1} & V_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{n-1,0} & V_{n-1,1} & \dots & V_{n-1,n-1} & V_{n-1,n} \\ V_{n,0} & V_{n,1} & \dots & V_{n,n-1} & V_{n,n} \end{array} \right|, \quad (\text{И.2.6})$$

И.2.10 Полученное значение  $V_{\text{ср.пл.}}$  является оценочной скоростью вертикального смещения зоны размещения имеющихся реперов. Критерием к объединению является градиент скоростей вертикальных смещений  $grad V = 1 \times 10^{-6}$  1/год. В противном случае, выполняется зонирование этой территории (реперов).

И.2.12 Зонирование выполняется путем выделения близких по расположению и по полученным значениям  $V_n$  реперов проведению аналогичных показанному расчетов для выделенных групп.

### И.3 Оценка устойчивости опорной плановой сети

И. 3.1 Оценка устойчивости плановой сети выполняется между пунктами одинакового класса или одинаковой разрядности по результатам измерений в двух и более циклах повторных измерений.

И.3.2 Оценка устойчивости производится «от средней точки и среднего направления – дирекционного угла» определяемых, как:

$$\begin{cases} X_m = \frac{1}{n} \sum x_n \\ Y_m = \frac{1}{n} \sum y_n \\ tg\alpha = \frac{Y_m}{X_m} \end{cases} \quad (\text{И.10})$$

где  $x_n, y_n$  – координаты пунктов опорной сети;  $n$  – номер репера;  $X_m, Y_m$  – координаты условного центра.

И.3.3 Первоначальной основой к определению исходных пунктов принимается то, что в основном вся совокупность пунктов опорной сети в процессе повторных измерений является неподвижной и изменение положения одного или нескольких реперов несущественно скажется на положении условного центра с координатами  $X_m, Y_m$ .

И.3.4 Вычисленные на исходную для расчетов дату цикла измерений координаты являются основой для определения систематических как линейных уклонов  $L_{X,Y}$ , так и дирекционного угла  $\Delta\beta$ , определяемых по формулам

$$L_{x,y} = \frac{1}{n} \sum \sqrt{(y_i - Y_m)^2 + (x_i - X_m)^2}, \quad (\text{Д.11})$$

$$\Delta_\beta = \frac{1}{n} \sum \left[ \operatorname{arctg} \left( \frac{y_{in} - Y_m}{x_{in} - X_m} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{y_{i0} - Y_m}{x_{i0} - X_m} \right) \right] \quad (\text{Д.12})$$

И.3.5 Полученные средние величины  $L_{x,y}$  и  $\Delta\beta$  являются систематическими погрешностями, связанными с ошибками измерений и сравниваются с погрешностями измерений в каждом частном случае. Частные уклонения на каждом знаке являются показателями устойчивости.

И.3.6 Если величины частных уклонений находятся в пределах точности производимых измерений, то знак является устойчивым. В противном случае знак является неустойчивым и не может быть использован в качестве исходного знака.

Критериями к отбраковке являются величины  $\Delta_\beta = 3m_\beta\sqrt{2}$  и  $\Delta_L = 3m_L\sqrt{2}$ , где  $m_\beta$  и  $m_L$  – средние квадратические ошибки определения угла и расстояния.

Таблица И.3 – Пример оценки устойчивости плановой сети

Пункт	Координаты						Приращения координат, м						Уклонения направлений		Расстояния от УЦ, м			суммарные	текущие	Пункт																		
	2010 (первый цикл)		2012 (пятый цикл)		2013 (шестой цикл)		2010 (первый цикл)		2012 (пятый цикл)		2013 (шестой цикл)		суммарные	текущие	1 цикл	5 цикл	6 цикл					суммарные	текущие															
	А, м	Б, м	А, м	Б, м	А, м	Б, м	dA	dB	dA	dB	dA	dB												сек	сек	dS	dS	dS	уклонения	уклонения								
Пункты внешней сети																																						
nn0702	-1289,430	938,854	-1289,419	938,809	-1289,390	938,817	-913,212	-211,660	-913,198	-211,697	-913,174	-211,706	11,7	3,2	937,420	937,414	937,393	-0,026	-0,021	nn0702																		
nn0704	-1254,226	1398,714	-1254,241	1398,718	-1254,218	1398,720	-878,008	248,200	-878,020	248,212	-878,002	248,197	0,3	2,2	912,415	912,430	912,409	-0,006	-0,021	nn0704	Исх.																	
nn0705	-1096,755	1810,886	-1096,763	1810,891	-1096,755	1810,886	-720,537	660,372	-720,542	660,385	-720,539	660,363	1,7	3,1	977,376	977,389	977,372	-0,004	-0,017	nn0705																		
nn0901	-60,162	1592,189	-60,167	1592,196	-60,167	1592,203	316,056	441,675	316,054	441,690	316,049	441,680	3,5	-0,6	543,110	543,121	543,110	0,000	-0,011	nn0901	Исх.																	
nn0902	-58,115	1223,076	-58,119	1223,074	-58,121	1223,087	318,103	72,562	318,102	72,568	318,095	72,564	2,5	-1,6	326,274	326,275	326,267	-0,008	-0,008	nn0902	Исх.																	
nn0903	-64,949	905,642	-64,953	905,629	-64,945	905,659	311,269	-244,872	311,268	-244,877	311,271	-244,864	3,8	6,1	396,044	396,046	396,040	-0,004	-0,006	nn0903	Исх.																	
nn0904	-222,594	366,876	-222,589	366,867	-222,567	366,905	153,624	-783,638	153,632	-783,639	153,649	-783,618	7,2	5,3	798,555	798,557	798,540	-0,015	-0,017	nn0904																		
nn0905	-362,757	-26,062	-362,764	-26,077	-362,717	-26,018	13,461	-1176,576	13,457	-1176,583	13,499	-1176,541	6,6	7,4	1176,653	1176,660	1176,619	-0,035	-0,041	nn0905																		
nn1005	-606,048	590,462	-606,049	590,450	-606,044	590,449	-229,830	-560,052	-229,828	-560,056	-229,828	-560,074	3,3	2,3	605,376	605,379	605,396	0,020	0,017	nn1005																		
nn1006	-797,462	772,212	-797,454	772,196	-797,438	772,215	-421,244	-378,302	-421,233	-378,310	-421,222	-378,308	6,8	2,1	566,179	566,176	566,167	-0,012	-0,009	nn1006																		
nn1007	-592,194	1764,377	-592,204	1764,378	-592,210	1764,379	-215,976	613,863	-215,983	613,872	-215,994	613,856	6,3	5,1	650,748	650,759	650,748	0,000	-0,012	nn1007	Исх.																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...																	
Пункты внутренней сети																																						
nn0913	-248,259	1333,174	-248,289	1333,145	-248,296	1333,163	127,959	182,660	127,932	182,639	127,920	182,640	19,4	9,7	223,021	222,988	222,971	-0,032	-0,050	nn0913																		
псс27	-635,615	1111,499	-635,613	1111,485	-635,609	1111,504	-259,397	-39,015	-259,392	-39,021	-259,393	-39,019	3,4	-1,5	262,314	262,310	262,318	-0,004	0,004	псс27	Исх.																	
псс29	-703,432	889,215	-703,445	889,194	-703,426	889,210	-327,214	-261,299	-327,224	-261,312	-327,210	-261,313	6,4	4,7	418,743	418,759	418,774	0,016	0,031	псс29																		
псс30	-703,429	1111,515	-703,419	1111,511	-703,413	1111,521	-327,211	-38,999	-327,198	-38,995	-327,197	-39,002	2,8	4,6	329,527	329,513	329,521	-0,013	-0,006	псс30																		
псс31	-703,452	1329,716	-703,449	1329,703	-703,441	1329,712	-327,234	179,202	-327,228	179,197	-327,225	179,189	4,0	3,3	373,089	373,081	373,078	-0,007	-0,011	псс31	Исх.																	
псс32	-703,440	1566,905	-703,448	1566,893	-703,446	1566,895	-327,222	416,391	-327,227	416,387	-327,230	416,372	7,1	4,7	529,580	529,581	529,570	0,000	-0,010	псс32	Исх.																	
псс35	-767,741	1699,849	-767,749	1699,850	-767,747	1699,853	-391,523	549,335	-391,528	549,344	-391,531	549,330	3,0	3,4	674,580	674,591	674,580	0,011	0,000	псс33																		
псс36	-913,459	889,583	-913,462	889,562	-913,451	889,579	-537,241	-260,931	-537,241	-260,944	-537,235	-260,944	4,8	0,9	597,254	597,260	597,272	0,006	0,018	псс36	Исх.																	
псс37	-913,330	1111,505	-913,331	1111,495	-913,327	1111,511	-537,112	-39,009	-537,110	-39,011	-537,111	-39,012	1,1	0,4	538,526	538,525	538,531	-0,002	0,005	псс37	Исх.																	
псс38	-913,336	1308,456	-913,339	1308,442	-913,334	1308,454	-537,118	157,942	-537,118	157,936	-537,118	157,931	3,9	1,9	559,858	559,857	559,857	-0,001	-0,001	псс38	Исх.																	
псс40	-913,341	1699,848	-913,353	1699,847	-913,348	1699,848	-537,123	549,334	-537,132	549,341	-537,132	549,325	3,5	3,1	768,289	768,301	768,292	0,012	0,003	псс40																		
псс7	-84,173	980,361	-84,174	980,363	-84,177	980,387	292,045	-170,153	292,047	-170,143	292,039	-170,136	7,0	1,0	337,998	337,994	337,998	-0,004	0,000	псс7	Исх.																	
													4,2	3,2				-0,010	-0,016																			
Координаты условного центра (УЦ)	-376,218	1150,514	-376,221	1150,506	-376,216	1150,523																																
Уклонения УЦ по циклам	0	0	-0,003	-0,008	0,003	0,009																																

**Приложение К**  
**(справочное)**

**Расчет средней осадки в геометрическом центре фундамента**

**К.1 Расчет геометрического центра монолитного фундамента**

К.1.1 В простейшем случае расчет геометрического центра для прямоугольных фундаментов выполняется по координатам углов фундамента как среднее из координат углов.

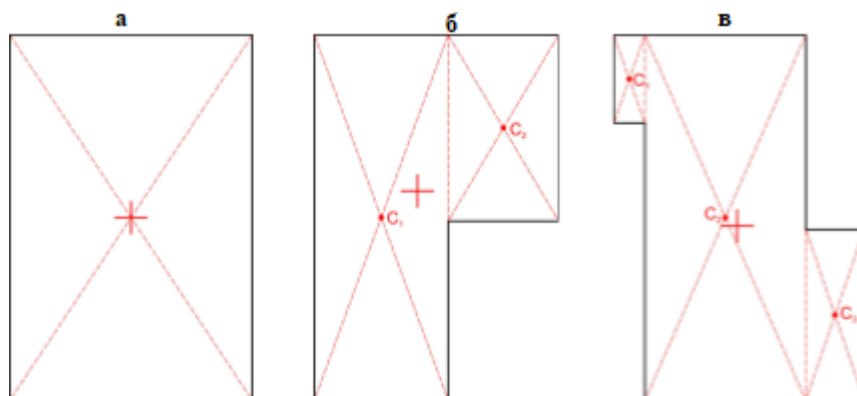
$$\begin{cases} X_{ГЦ} = \frac{\sum X_i}{4} \\ Y_{ГЦ} = \frac{\sum Y_i}{4} \end{cases} \quad (К.1)$$

К.1.2 Если фундамент представлен сложной формой, то фундамент разбивается на простейшие фигуры (прямоугольники или треугольники), а геометрический центр определяется как средневзвешенная сумма по формуле

$$\begin{cases} X_{ГЦ} = \frac{X_{ГЦ1}S_1 + X_{ГЦ2}S_2 + \dots + X_{ГЦi}S_i}{\sum S_{ГЦ}} \\ Y_{ГЦ} = \frac{Y_{ГЦ1}S_1 + Y_{ГЦ2}S_2 + \dots + Y_{ГЦi}S_i}{\sum S_{ГЦ}} \end{cases} \quad (К.2)$$

где  $X_{ГЦi}$  и  $Y_{ГЦi}$  - координаты геометрического центра каждого фрагмента фундамента, м;  
 $S_{ГЦ}$  – площадь всего фундамента, м<sup>2</sup>.

На рисунке К.1.1 приведены наиболее распространенные формы фундаментов



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

- $C_i$  - геометрический центр (центр тяжести отдельной фигуры)
- $+$  - геометрический центр (центр тяжести всего фундамента)

Р и с у н о к К.1.1 – Наиболее распространенные формы монолитных фундаментов:

а – прямоугольной; б – Г-образной; в – S-образной формы

К.1.3 Для любого фундамента, выполненного в виде самонепересекающегося замкнутого многоугольника заданного  $n$  вершинами  $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$  и геометрический центр может быть определен по формуле

$$\begin{cases} X_{\text{ГЦ}} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} + x_{i+1} y_i); \\ Y_{\text{ГЦ}} = \frac{1}{6S} \sum_{i=1}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} + x_{i+1} y_i); \end{cases} \quad (\text{К.3})$$

где  $S$  – площадь многоугольника (со знаком), определяемая по формуле

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i), \quad (\text{К.4})$$

## К.2 Расчет средней осадки геометрического центра монолитного фундамента

К.2.1 Расчет выполняется при помощи аппроксимации вертикальных смещений предварительно координированных деформационных марок в первом приближении плоскостью с уравнением

$$\Delta H(x, y) = \Delta H_0 + K_x X + K_y Y, \quad (\text{К.5})$$

где  $\Delta H_0$ ,  $K_x$  и  $K_y$  – искомые коэффициенты, определяющие положение наклонной плоскости вертикальных смещений. В геометрическом смысле коэффициенты  $K_x$  и  $K_y$  определяют относительный крен вдоль осей  $X$  и  $Y$ .

К.2.2 Для определения коэффициентов уравнения  $\Delta H_0$ ,  $K_x$  и  $K_y$  должна быть составлена система уравнений

$$\begin{cases} \sum H_m = H_0 N + k_1 \sum x_m + k_2 \sum y_m \\ \sum H_m x_m = H_0 \sum x_m + k_1 \sum x_m^2 + k_2 \sum x_m y_m, \\ \sum H_m y_m = H_0 \sum y_m + k_1 \sum x_m y_m + k_2 \sum y_m^2 \end{cases} \quad (\text{К.6})$$

где  $H_m$ ,  $x_m$ ,  $y_m$  – соответственно, вертикальные смещения и координаты марок.

К.2.3 Решить полученную систему можно методом подстановки («школьный метод»), методом почленного сложения (вычитания) уравнений системы, по формулам Крамера, с помощью обратной матрицы, методом Гаусса.

К.2.4 Средняя осадка  $S_{\text{ГЦ}}$  определяется путем подстановки в полученное уравнение вертикальных смещений координат геометрического центра фундамента

$$S_{\text{ГЦ}} = \Delta H_0 + K_x X_{\text{ГЦ}} + K_y Y_{\text{ГЦ}} \quad (\text{К.7})$$

К.2.5 Для случаев, когда изолинии вертикальных смещений фундамента неравномерны и не представляют собой плоскости возможно определение средней осадки из интерполяции вертикальных смещений в точке соответствующей геометрическому центру фундамента.

## Библиография

- [1] Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»
- [2] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии  
НП-064–17      Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии
- [3] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии  
НП-001–15      Общие положения обеспечения безопасности атомных станций
- [4] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии  
НП-041–22      Требования по безопасности к строительным конструкциям зданий и сооружений атомных станций
- [5] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии  
НП-031–01      Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций
- [6] Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (утверждены приказом Минэнерго России от 4 октября 2022 г. № 1070)
- [7] Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 190-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»
- [8] Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии»
- [9] Рекомендации по межгосударственной стандартизации  
РМГ 63–2003      Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации
- [10] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии  
НП-006–16      Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности блока атомной станции с реактором типа ВВЭР

- [11] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-032–19      Площадка атомной станции. Требования безопасности
- [12] Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-019–18.      Оценка исходной сейсмичности района и площадки размещения объекта использования атомной энергии при инженерных изысканиях и исследованиях
- [13] Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
- [14] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»



УДК 006.89: 006.354

ОКС 01.120; 27.120.20

Ключевые слова: геодезический мониторинг, осадки, крены, здания и сооружения объектов использования атомной энергии

---