

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Т.И. Хаметов

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ
ЗДАНИЯ И ЕГО КОНСТРУКЦИЙ**

Пенза 2015

УДК 69.059:528.3(035.3)

ББК 38.7-08+38.58

X18

Рецензенты – главный геодезист Пензенского ТИСИЗ
П.В. Терехин;
кандидат технических наук, доцент
Е.П. Тюкленкова (ПГУАС)

Хаметов Т.И.

X18 Геодезические работы при оценке эксплуатационных качеств здания и его конструкций [Текст]: моногр. / Т.И. Хаметов. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 124 с.
ISBN 978-5-9282-1341-1

Изложены состав и содержание геодезических работ при наблюдениях за деформациями и техническом обследовании зданий и сооружений, во время которых выполняют геодезические измерения по установлению состояния геометрических параметров зданий, сооружений и их отдельных конструктивных элементов.

Монография подготовлена на кафедре «Землеустройство и геодезия» и предназначена для использования студентами, обучающимися по направлению 08.03.01 «Строительство» при изучении дисциплины «Геодезические работы в строительстве».

ISBN 978-5-9282-1341-1

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2015

© Хаметов Т.И., 2015

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ.....	6
1.1. Общие сведения о процессе наблюдения за деформациями	6
1.2. Размещение и закрепление геодезических знаков для наблюдения за осадками	8
1.3. Периодичность и точность измерения деформаций.....	12
1.4. Методы измерения деформаций	14
1.5. Измерение осадки методом геометрического нивелирования	17
1.6. Наблюдения за трещинами.....	20
1.7. Измерение осадки методом гидростатического нивелирования.....	22
1.8. Наблюдения за горизонтальными смещениями зданий и сооружений.....	24
1.9. Измерение кренов зданий и сооружений.....	29
1.10. Измерение деформаций фотограмметрическим методом.....	33
2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	37
2.1. Состав и содержание геодезических работ	37
2.2. Способы геодезического обмера зданий	38
2.3. Способы измерения вертикальности стен	40
2.4. Определение размеров недоступных элементов зданий и сооружений.....	42
2.5. Планово-высотная съемка элементов здания.....	47
3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	51
3.1. Общие сведения о рельсовых подкрановых путях	51
3.1.1. Общие положения по соблюдению точности геометрических параметров рельсовых путей	51
3.1.2. Наземные рельсовые подкрановые пути.....	54
3.1.3. Надземные рельсовые подкрановые пути.....	55
3.1.4. Основные правила техники безопасности при проверке подкрановых путей.....	57
3.2. Плановая съемка подкрановых путей	58
3.2.1. Методы измерения ширины колеи	58
3.2.2. Механический способ	62
3.2.3. Косвенное измерение	68
3.3. Способы определения непрямолинейности рельсовых путей	76
3.3.1. Способ «струны»	79
3.3.2. Оптический способ.....	82
3.3.3. Способ подвижной хорды.....	84

3.3.4. Проверка непрямолинейности рельсов способом двух параллельных створов	86
3.3.5. Определение непрямолинейности рельсов способом одного створа.....	87
3.3.6. Проверка прямолинейности рельсов способом произвольного створа	87
3.3.7. Контроль прямолинейности и параллельности осей створов способом двух непараллельных створов.....	89
3.4. Проверка взаимных смещений осей рельсов и подкрановых балок.....	89
3.4.1. Способы измерения взаимного смещения осей	89
3.4.2. Проверка взаимных смещений линейкой с миллиметровыми делениями	90
3.4.3. Проверка смещений рельса методом бокового нивелирования	91
3.4.4. Проверка горизонтальных смещений с помощью Г-образной рейки.....	91
3.5. Высотная съемка рельсового подкранового пути.....	92
3.5.1. Геометрическое нивелирование.....	92
3.5.2. Тригонометрическое нивелирование	99
3.5.3. Гидростатическое нивелирование	101
3.6. Совершенствование практики измерения подкрановых путей мостовых кранов	103
3.6.1. Использование вертикального базиса при определении плано-высотного положения надземного пути	106
3.6.2. Производство плано-высотной съемки в неблагоприятных для измерения условиях	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	111
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	112
Приложение 1	114
Приложение 2	122

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе оценки состояния эксплуатационных качеств зданий и сооружений проводят наблюдения за деформациями геодезическими методами, а также техническое обследование, во время которых выполняют геодезические работы по установлению геометрических параметров зданий, сооружений и их основных отдельных конструктивных элементов. При техническом освидетельствовании зданий и сооружений с наличием подкрановых путей определяют их планово-высотное положение.

В первой главе монографии рассмотрен процесс наблюдения за деформациями зданий и сооружений геодезическими методами. Особо уделено внимание измерению осадки методом геометрического нивелирования, наблюдению за горизонтальными смещениями зданий и сооружений, измерения кренов зданий и сооружений.

Во второй главе изложены состав и содержание геодезических работ при обмере зданий, измерении вертикальности стен, определении размеров недоступных элементов зданий и сооружений, а также планово-высотной съемке элементов зданий.

В третьей главе геодезические работы при эксплуатации подкрановых конструкций рассмотрены методы и способы измерения ширины колеи, взаимного смещения оси рельс и непрямолинейности подкранового рельсового пути грузоподъемных кранов, а также высотная съемка подкрановых конструкций. Предложено совершенствование практики измерения надземных подкрановых путей в производственных цехах в условиях загазованности, высокой температуры и работы геодезистов на высоте.

Научная и практическая значимость результатов исследования, представленных в данной монографии, состоит в анализе и развитии подходов, которые, которые позволят на научно-методической основе с учетом современной практике, обеспечить качественное инструментальное наблюдение за деформациями эксплуатируемых зданий и сооружений, высокую точность проводимых измерений геодезическими методами, а также выполнение геодезических работ при инженерной оценке состояния конструкций зданий и подкрановых путей мостовых кранов.

Предлагаемые методы геодезических измерений при плановой и высотной съемках подкрановых конструкций в условия загазованности и высокой температуры позволяют обеспечить производительность труда исполнителей съемок и повышение техники безопасности их труда.

Результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе при подготовке студентов по направлению «Строительство», изучающих дисциплины «Геодезические работы в строительстве», «Технология строительного производства», «Обследование зданий и сооружений», а также работниками строительно-монтажных организаций

1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

1.1. Общие сведения о процессе наблюдения за деформациями

Здания и сооружения в процессе их возведения и эксплуатации подвергаются вертикальным и горизонтальным смещениям, приводящим строения к деформации, которая возникает по причинам, связанным с инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями и физико-механическими свойствами грунта, а также с ошибками при изысканиях, проектировании, строительно-монтажных работах и эксплуатации зданий, сооружений.

Смещение в горизонтальном направлении называют **сдвигом**, вертикальные смещения, направленные вверх, – **подъемом** (выпучиванием), а вниз – **осадкой**. На практике, когда направление вертикального смещения неизвестно, употребляют слово «осадка» в обобщенном смысле, аналогично тому, как слово «превышение» понимают и в случае «понижение»

Равномерная осадка происходит в случаях, когда давление, вызываемое массой здания, и сжимаемость грунта во всех частях основания под фундаментом одинаковы. Равномерная осадка не снижает прочности и устойчивости здания или сооружения. Но если её величина значительно превышает расчетную, то это может вызвать изменение физико-механических свойств грунта и привести к нарушению взаимосвязи здания или сооружения с инженерными коммуникациями, а также к неравномерной осадке.

Неравномерная осадка возникает в результате различного давления частей здания или сооружения и неодинаковой сжимаемости грунта под фундаментом. Это приводит к неравномерным смещениям надфундаментных конструкций, то есть к их деформации. По действию такая осадка является более опасной для здания или сооружения и опасность тем больше, чем значительней разность осадок его частей и чувствительней к ним конструкции и технологические элементы.

Для своевременного выявления величины, направления и интенсивности деформации зданий (сооружений), а также причин, вызывающих этот процесс, выполняют геодезические наблюдения с соответствующими измерениями. При этом получают следующие характеристики деформации основания и здания (сооружения):

- **абсолютную (полную) осадку** отдельных точек основания, здания (сооружения);
- **среднюю осадку** основания, здания (сооружения);

– **перекос** – относительную неравномерность осадки здания (сооружения) или его конструкций, измеряемую разностью вертикальных перемещений характерных точек здания (сооружения), отнесенною к расстоянию между ними;

– **крен** – отклонение конструкции или здания (сооружения) от вертикальной плоскости в результате неравномерной осадки, без нарушения целостности и геометрических параметров, измеряемое отношением разности осадок крайних точек фундамента к его ширине или длине;

– **относительный прогиб** (выгиб) – отношение величины прогиба (выгиба) к длине изогнувшейся части конструкции или здания (сооружения);

– **кручение** – явление, когда два параллельных фундамента или две грани железобетонной плиты имеют неравномерную осадку, направленную в противоположные стороны;

– **трещины** – разрывы в плоскостях или конструкциях здания (сооружения) в результате неравномерных осадок или недопустимых напряжений.

Вышеуказанные характеристики, влияющие на прочность и долговечность зданий (сооружений), прямо или косвенно связаны с осадками. Обработку результатов измерения осадок выполняют специалисты в области механики грунтов, проектировщики, геодезисты с учетом конкретных условий строительства и эксплуатации зданий (сооружений).

В ряде случаев результаты наблюдений используют для оценки методов расчета осадки или прогнозирования осадки здания (сооружения). Предельно допустимую величину осадки основания здания (сооружения), соответствующую пределу эксплуатационной пригодности здания (сооружения) по технологическим или архитектурным требованиям, устанавливают нормами проектирования зданий (сооружений), правилами технической эксплуатации оборудования или заданием на проектирование.

Наблюдение за деформациями вновь строящихся зданий и сооружений начинают с момента окончания работ нулевого цикла и заканчивают после достижения стабилизации осадок фундаментов, но не ранее двух лет после сдачи здания или сооружения в эксплуатацию. Весь процесс наблюдения за деформациями зданий и сооружений состоит из двух основных этапов: организационного этапа подготовительной работы и непосредственных измерений с камеральной обработкой полученных данных.

На этапе подготовительной работы осуществляют:

- составление рабочей программы наблюдений;
- проектирование конструкций геодезических опорных знаков и осадочных (деформационных) марок, их закладку;
- подбор приборов и всего необходимого для выполнения измерений.

На втором этапе выполняют:

- непосредственные измерения по методике, принятой в рабочей программе наблюдений;

– обработку результатов измерений, определение величин деформаций с оценкой точности их вычисления, составление ведомостей по каждому циклу измерений, графическое оформление полученных результатов измерений;

– составление технического отчёта с анализом полученных данных.

Составление рабочей программы наблюдений за деформациями осуществляют проектная организация совместно с организацией, производящей работу, и утверждают её до начала работы. Рабочая программа наблюдений разрабатывается на основании технического задания, утвержденного организацией – заказчиком, нормативных документов по наблюдению за деформациями, рекогносцировки объекта и включает в себя следующее:

– изложение цели и задачи наблюдений;

– составление схемы размещения геодезических знаков и их привязки к пунктам исходной геодезической сети;

– разработку календарного плана выполнения работ;

– выбор метода измерения деформаций;

– указание периодичности и продолжительности измерения, а также необходимой точности геодезических построений при наблюдениях за деформациями.

На основании рабочей программы определяется объём работ по наблюдению за деформациями. Геодезические работы по измерению деформаций зданий и сооружений выполняет подрядная организация. После завершения работ она передает организации – заказчику или генподрядной организации следующие материалы:

– схему размещения знаков опорной сети и осадочных марок;

– журналы измерений и сводные ведомости результатов измерений;

– ведомости уравнивания и вычисления отметок, плановых координат марок и т.п.;

– краткую пояснительную записку.

В пояснительной записке приводят геологическую и топографическую характеристики работ, описание наблюдаемого объекта, план фундаментов, сведения по циклам о нагрузках на основание, описание причин возникновения неравномерных осадок, методики и анализ точности результатов измерений.

1.2. Размещение и закрепление геодезических знаков для наблюдения за осадками

Данные о процессах деформации получают на основе измерения смещения точек наблюдаемого здания или сооружения относительно опорных геодезических знаков. При этом достоверность данных измерения

во многом зависит от устойчивости опорных знаков, доступности и удобства пользования ими во всех циклах наблюдений.

Устойчивость опорных знаков зависит от выбора места размещения и надёжности их закрепления на местности. Опорные знаки размещают на участках с устойчивыми грунтами, расположенными вне зоны осадочных воронок и производства строительных работ, но как можно ближе к точкам наблюдаемого здания или сооружения. Опыт показывает, что зона активных деформаций грунтов может распространяться на расстояние, равное шестикратной ширине фундамента здания или сооружения.

Для промышленных и гражданских зданий опорные высотные знаки располагают не ближе 80 м от здания, а для крупных гидротехнических сооружений – на расстоянии до 1 км. Границей зоны распространения напряжений в грунтах, создаваемых весом здания или сооружения, считают плоскость, проходящую через грань фундамента и наклоненную к вертикали под углом 25–30°.

Для предохранения от повреждений машинами и других воздействий внешней среды опорные знаки защищают металлической оградой или колодцем, курганом и канавой.

В качестве опорных высотных знаков при наблюдениях за осадками зданий и сооружений служат фундаментальные глубинные реперы, закладываемые в коренные породы в виде железобетонных монолитов (рис.1,а) или других жёстких конструкций. В целях удобства выполнения контроля за устойчивостью их размещают кустами. Каждый куст состоит из двух-трех реперов, размещенных таким образом, чтобы превышения между ними могли быть определены с одной установки нивелира при длине визирного луча до реперов не более 50 м. При наблюдениях за осадками по данным превышений между реперами в текущем и предшествующем циклах измерений устанавливают наиболее устойчивый репер, относительно которого определяют величину осадки.

Устойчивость глубинных реперов контролируют и по их координатам, которые определяют через десять дней после закладки и в начале каждого цикла измерений. Изменения в координатах опорных знаков в различных циклах измерений говорят об их неустойчивости и обязывают исполнителя к принятию соответствующих мер.

Глубинные реперы закладывают при наблюдениях за деформациями ответственных сооружений нивелированием I класса. При нивелировании II и III классов используют грунтовые или стенные реперы (рис.1,б).

Грунтовые реперы закладывают ниже уровня промерзания грунта. По конструкции они могут быть трубчатыми или свайными, со сферической головкой в верхней части. При удалении наблюдаемого объекта более чем на 2 км от пунктов исходной геодезической сети, затрудняющем привязку к ним заложенных на объекте реперов, применяют условную систему высот.

Обоснованию мест размещения точек наблюдений уделяют перво-степенное значение и осуществляют это на основе анализа особенностей грунта, нагрузки на него, чувствительности конструкций к осадкам и предположений о характеристике деформаций. Опыт показывает, что информативность результатов наблюдений за деформациями зданий и сооружений в большей мере зависит от правильного размещения точек наблюдений, в меньшей – от их количества. Точки обычно размещают в нижней части несущих конструкций, примерно на одном уровне, в местах, чувствительных к осадкам и изменяющейся нагрузке, то есть там, где ожидаются наибольшие стоки воды: в углах зданий, на стыках капитальных стен, в зонах наибольших напряжений несущих конструкций, по обе стороны осадочных и температурных швов.

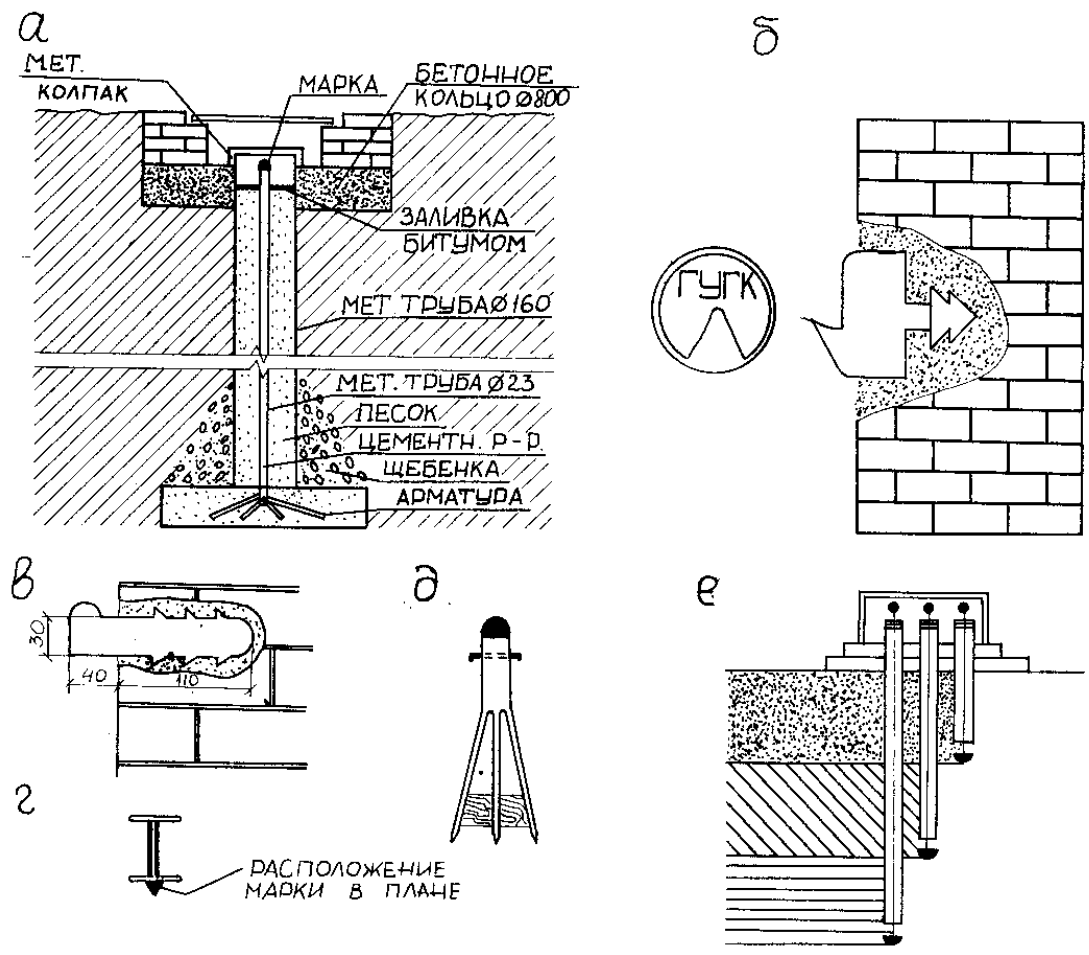


Рис.1. Геодезические знаки для наблюдения за осадками:
 а – глубинный репер; б – стеной репер; в – осадочная марка, закрепляемая в кирпичные или бетонные стены; г – осадочная марка, закрепляемая сваркой к металлической колонне; д – глубинная марка, закрепляемая в земляные сооружения; е – куст марок для определения величины послойного сжатия грунта

На кирпичных жилых и общественных бескаркасных зданиях с ленточным фундаментом точки наблюдений размещают по периметру через каждые 10–15 м. Для промышленных сооружений и каркасных жилых и общественных зданий точки наблюдения размещают на колоннах по продольным и поперечным осям (не менее трех в каждом направлении). На бескаркасных крупнопанельных жилых и общественных зданиях на сборных фундаментах точки наблюдений размещают по периметру через каждые 6–8 м, а на свайных фундаментах – через каждые 10–15 м по продольным и поперечным осям. На сооружениях типа дымовых труб, доменных печей и т.п. размещают по периметру не менее четырех точек наблюдений. На гидротехнических сооружениях, разделенных на секции, размещают не менее трех точек наблюдений на каждую секцию, а при ширине секции более 15 м – не менее четырех точек. На причальных и подпорных стенах точки наблюдений размещают по периметру через каждые 15–20 м.

Для определения крена и стрелы прогиба ведут наблюдения за тремя-десятью точками, расположенными вдоль исследуемой оси.

Точки наблюдений закрепляют на зданиях и сооружениях осадочными или контрольными марками. Осадочные марки изготавливают в виде штырей, болтов, отрезков угловой стали и костылей длиной до 15 см при креплении к каменным стенам и до 5 см при креплении их к металлическим конструкциям (см.рис.1,б,г).

Для более четкой фиксации марок и удобства установки на них рейки концам штырей, болтов или костылей предварительно придают сферическую или полусферическую форму. При закреплении в стену они выступают из неё на расстояние до 4 см.

В отдельных случаях, например, при долговременных наблюдениях за осадками сооружений, памятников истории архитектуры, применяют марки с предохранительными колпачками и марки скрытого типа с завинчивающимися болтами.

При наблюдениях за деформациями земляных сооружений (котлована, дамбы, плотины и т.п.) применяют специальные глубинные марки, позволяющие измерять смещения скрытых точек. Например, для определения величины подъема дна котлована применяют марку длиной 0,5 м (см. рис.1,д), закладываемую в пробуренные скважины на 0,8 м ниже проектной отметки дна котлована. Марки закладывают до начала земляных работ. Для этого обсадные трубы скважины поднимают на 0,5 м и затем в скважину заливают слой бетона толщиной 0,25 м, в который вдавливают марку.

Высоту марок определяют до начала земляных работ по отвесной рулетке с гирей на нижнем конце, а затем скважину засыпают мелкими кусками алебаstra или кирпича и извлекают обсадную трубу. После разработки котлована убирают засыпку над марками и вновь определяют их

высоту. Разность высот первого и второго результатов представляет величину подъема дна котлована.

Для вычисления величины послойного сжатия грунтов закладывают кустаны марок на различную глубину с основаниями на границах пластов грунта (см. рис.1,е). Все закрепленные геодезические знаки сдают на хранение производителю работ строящегося объекта или эксплуатирующей его организации по отдельному акту.

1.3. Периодичность и точность измерения деформаций

При разработке методики наблюдений за деформациями зданий и сооружений обоснованию периодичности и точности измерений уделяют особое внимание.

Измерение осадки строящихся зданий и сооружений начинают сразу после начала возведения фундаментов или кладки цоколя. Если первый цикл измерений выполнен с опозданием, то последующие измерения будут обесценены в связи с невыясненными причинами уже произошедшей осадки.

Частоту измерения осадок в основном увязывают с возрастанием нагрузки на грунт основания и развитием его деформации во времени. Как отмечалось выше, продолжительность осадки грунта основания зависит от его строения, состава и физического состояния и может колебаться в широких пределах. Во многих случаях она завершается по окончании строительства, но может продолжаться в течение многих лет. Быстрее завершаются деформации скальных и песчаных грунтов, значительно медленнее – глинистых.

Первый цикл измерения обычно начинают тогда, когда давление фундамента на грунт составляет 25 % от веса здания или сооружения. Последующие циклы измерений осадок выполняют при достижении нагрузки в 50, 75, 100 % от веса здания и сооружения или после возведения каждого этажа.

При строительстве крупнопанельных зданий измерение осадок выполняют после возведения фундамента, монтажа второго этажа, коробки здания и перед сдачей его в эксплуатацию.

При выполнении повторных циклов измерений учитывают действие различных факторов – проведение подземных работ, возведение в непосредственной близости больших сооружений, изменения температурного режима грунта основания, уровня грунтовых вод, динамических нагрузок. В таких случаях выполняют измерение осадок до и после проявления и учета указанных факторов. По полученным данным корректируют график работ по измерению осадок.

Промежутки между циклами измерений уменьшают при возрастании скорости осадок и появлении трещин, недопустимых кренов и других

опасных деформаций. После окончания строительства здания или сооружения периодичность измерений осадок изменяется. В период первых двух лет эксплуатации измерения выполняют не менее четырех раз, приурочивая их к различным сезонам года. Осадку сооружения, возведенного на песчаном грунте, рекомендуется измерять через 5–6 месяцев. Наблюдения за деформациями прекращают только тогда, когда скорость осадки не превышает 1–2 мм в год. Наблюдения возобновляют при появлении причин, способных вызвать новые осадки и деформации зданий, сооружений.

Определение точности измерения деформаций производят в зависимости от ожидаемых конечных предельных значений величин перемещений, установленных проектной документацией, по форме (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Определение точности измерения деформаций

Расчетная величина вертикальных или горизонтальных перемещений, предусмотренная проектом, мм	Допустимая погрешность измерения перемещения, мм, для различных грунтов			
	при строительстве		при эксплуатации	
	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые
До 50	1	1	1	1
50-100	2	1	1	1
100-250	5	2	1	2
250-500	10	5	2	5
500	15	10	5	10

По данным табл.3 устанавливают класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещений фундаментов зданий и сооружений (табл.2).

Т а б л и ц а 2

Установление класса точности измерений

Класс точности измерения	Допустимая погрешность измерения перемещений, мм	
	горизонтальные	вертикальные
I	2	1
II	5	2
III	10	5
IV	15	10

В случае отсутствия расчетных величин вертикальных или горизонтальных перемещений рекомендуется устанавливать следующий класс точности измерения деформаций для зданий и сооружений:

I – длительное время находящихся в эксплуатации, а также возводимых на скальных и полускальных грунтах;

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

III – возводимых на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах,

а также:

IV – для земляных работ.

Как правило, при наблюдениях за осадкой грунта под особо ответственными и уникальными зданиями и сооружениями (высотные здания, ГЭС, АЭС, элеваторы и т.п.) применяют нивелирование I класса точности измерения. Наблюдения за другими гражданскими и промышленными сооружениями выполняют нивелированием II и III классов.

Нивелирование III класса точности измерения осадок применяют в тех случаях, когда средняя скорость осадки здания или сооружения превышает 5 мм в месяц. При меньших скоростях осадки этот метод нецелесообразен из-за недостаточной точности.

Для зданий из кирпича, блоков и панелей допустимую погрешность измерения можно установить по предельной величине относительного прогиба несущих стен $S_{\text{пред}} = 0,001 \dots 0,0013$ от длины изгибаемого участка. Так, для участка стены длиной 80 м $S_{\text{пред}} = 80 \dots 104$ мм.

Допустимую погрешность измерения деформаций принимают равной $0,1 S_{\text{пред}}$, то есть в нашем примере $S_{\text{доп}} = 8 \dots 10$ мм. Отсюда средняя квадратическая погрешность измерений составляет 4–5 мм.

Обоснование точности измерения деформаций необходимо увязывать с частотой измерений, потому что от этого зависят как полнота и достоверность полученных данных, так и стоимость геодезических работ. Разреженные наблюдения не могут обеспечить получения данных, характеризующих действительный ход деформаций, а слишком частые и высокоточные приведут к излишним затратам средств на измерения.

Содержание ошибок при высокоточном нивелировании короткими лучами приведено в прил. 1.

Расчет возможной точности измерения осадок методом геометрического нивелирования представлено в прил. 2.

1.4. Методы измерения деформаций

Измерения деформаций зданий и сооружений выполняют геодезическими и негеодезическими методами. Геодезические методы дают возможность определять **абсолютные** и **относительные** величины осадки зданий (сооружений) или их элементов.

За **абсолютные** осадки принимают вертикальные смещения, измеренные от реперов, не изменяющих своего высотного положения во все периоды наблюдения. За **относительные** осадки принимают вертикальные смещения, измеренные относительно произвольно выбранной точки здания (сооружения) или репера.

Негеодезическими методами определяют только относительные осадки элементов здания или сооружения. При этом используют отвесы, клиномеры, деформетры, микрокренометры и другие средства измерения. Эти приборы закрепляются на здании (сооружении) или внутри него и позволяют измерять смещение элементов здания (сооружения) практически непрерывно. Процесс измерений может быть автоматизирован.

Геодезические методы измерения осадок позволяют получать полные и достоверные данные об осадках здания (сооружения) в целом или его элементов в единой системе координат. К этим методам относятся: геометрическое, гидростатическое и тригонометрическое нивелирование, микронивелирование, фотограмметрия. Основным из них является метод геометрического нивелирования.

Метод геометрического нивелирования позволяет выполнять наблюдения за осадками зданий и сооружений по программам I–IV классов точности измерения. Высокоточное нивелирование короткими лучами позволяет определять разность высот двух точек, расположенных на расстоянии 10–15 м, со средней квадратической погрешностью 0,03–0,05 мм. Превышение между точками, удаленными на несколько метров, определяется с погрешностью 0,1–0,2 мм.

Этот метод позволяет выполнять измерения с высокой точностью в сложных условиях строительной площадки, со сравнительно небольшими материальными затратами.

К основным недостаткам метода геометрического нивелирования относятся трудность автоматизации измерений, сложность нивелирования в труднодоступных местах, отсутствие системы дистанционного съема информации, размещение осадочных марок на зданиях и сооружениях, насыщенных оборудованием не в местах осадок, а в местах, наиболее доступных для наблюдений.

От этих недостатков свободен **метод гидростатического нивелирования**, который обеспечивает при благоприятных внешних условиях более высокую точность определений превышений: средняя квадратическая погрешность 0,01–0,02 мм при расстоянии между точками до 40 м.

Широкому применению переносных гидростатических нивелиров препятствует ограничение диапазона измеряемых величин и существенное влияние на точность измерения внешних условий (температуры, изменений атмосферного давления, ветра). Гидростатическое нивелирование используют в основном при измерении осадок фундаментов, элементов конструкций или технологического оборудования в труднодоступных для

геометрического нивелирования местах, расположенных на одном уровне внутри здания или сооружения.

Метод тригонометрического нивелирования уступает по точности геометрическому и гидростатическому, но в отличие от них имеет достоинство – позволяет определять осадки точек, расположенных на различных высотах в труднодоступных местах. Наиболее высокая точность определения осадок (0,5 мм) может быть достигнута нивелированием короткими лучами (до 20 м). В сравнении с геометрическим этот метод позволяет измерять с одной станции значительные превышения, отпадает необходимость в рейках и осадочных марках. Вместо марок можно использовать откраски и другие облегченные знаки.

Тригонометрическое нивелирование применяют в том случае, когда измерение осадок зданий и сооружений методами геометрического или гидростатического нивелирования выполнить не представляется возможным.

Микронивелирование не заменяет, а лишь дополняет геометрическое или гидростатическое нивелирование. Оно широко применяется при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, для которых характерны высокие требования к точности монтажа и выверке технологического оборудования. Использование микронивелирования целесообразно при определении осадок только близко расположенных точек с расстоянием между ними в пределах 1 м. Например, при наблюдении за стабильностью различного рода направляющих и отдельных конструкций (балок, ферм, фундаментов), а также при определении наклонов и деформаций технологического оборудования. Этот метод отличается простотой и высокой точностью процесса измерения.

Фотограмметрический метод применяют при определении вертикального и горизонтального смещений наблюдаемых точек на различных уровнях сооружения в двух и трех координатах. Этот метод позволяет выполнять наблюдение с высокой точностью и производительностью труда за большим числом компактно расположенных точек на открытых обозрении стенах сооружения. При необходимости, все измерения можно повторить по фотоснимкам.

При наблюдениях за деформациями получает развитие применение лазерных устройств, основанных на измерении смещений точек относительно светового луча. Например, для определения деформаций крупных сооружений уже используют лазерные интерферометры, позволяющие измерять смещения с ошибкой порядка 10^{-7} – 10^{-8} . Для определения деформаций небольших объектов и отдельных конструкций могут быть использованы методы лазерной голографии, позволяющие записывать изображение предмета на фотопластинку.

1.5. Измерение осадки методом геометрического нивелирования

Измерение осадки зданий или сооружений методом геометрического нивелирования состоит из периодических определений отметок осадочных марок относительно реперов.

Сначала нивелируют ходы I–II классов точности, проложенные между фундаментальными реперами. Если реперы расположены кустами по 2–3 репера в группе, то предварительно реперы нивелируют с одной станции в каждой группе. Расхождение высот для реперов одной группы не должно превышать 0,3–0,5 мм. В дальнейшем в нивелирный ход включают лишь один репер группы, наиболее устойчивый и удобный для выполнения работ. Затем для определения отметок осадочных марок прокладывают нивелирные ходы II–IV классов точности, соединяющие все осадочные марки и репер.

Нивелирование выполняют в соответствии с основными техническими характеристиками и допусками.

При этом соблюдают следующую технологию для различных классов геометрического нивелирования:

I класс – двойным горизонтом, способом совмещения, в прямом и обратном направлениях или замкнутым ходом;

II–III класс – одним горизонтом, способами совмещения и наведения, а также замкнутым ходом;

IV класс – одним горизонтом, способом наведения.

Другие технические характеристики и допуски геометрического нивелирования представлены в табл.3.

При нивелировании места установки прибора закрепляют штырями в грунте или гвоздями в асфальте. При повторном нивелировании прибор устанавливают над этими же знаками. При нивелирных ходах одни осадочные марки являются связующими, а другие – промежуточными. На рис. 2 представлена схема нивелирного хода, в котором марки 1, 3, 5, 6, 8, 10 являются связующими точками хода, а марки 2, 4, 7, 9 – промежуточными. В кружках показаны номера станций.

Таблица 3

Технические характеристики
и допуски геометрического нивелирования

Приборы, технические характеристики и допуски геометрического нивелирования	Класс нивелирования			
	I	II	III	IV
Нивелиры	Н-05	Н-1, Н-2	Н-3	—
Рейки	РН-05 (односторонние инварные штриховые)		РН-3 (двусторонние шашечные)	
Число станций незамкнутого хода, не более	2	3	5	8
Длина визирного луча, м, не более	25	40	50	100
Высота над препятствием, м, не менее	1	0,8	0,5	0,3
Неравенство плеч на станции, м, не более	0,2	0,4	1	3
Накопление неравенства плеч в замкнутом ходе, м, не более	1	2	5	10
Допустимая невязка в замкнутом ходе при числе станций n , мм	$0,15\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$	$0,15\sqrt{n}$
Предельная ошибка превышения на одной станции, мм, не более	0,3	1	2	4

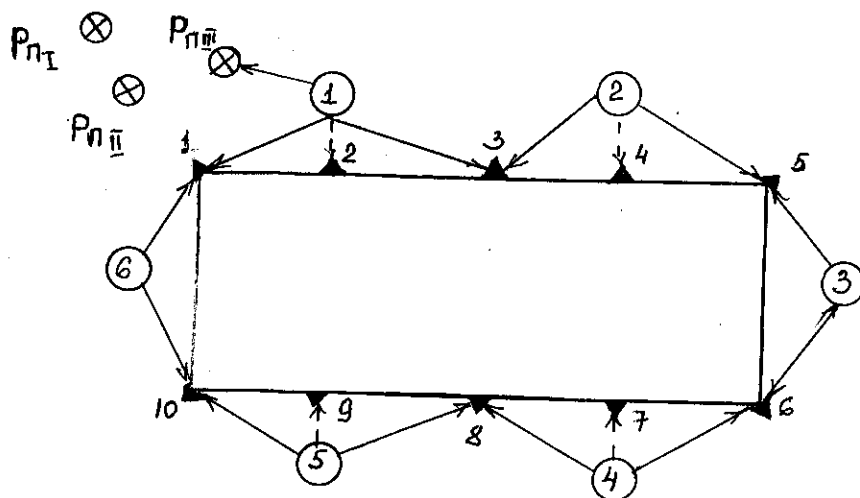


Рис.2. Схема нивелирного хода и расположения осадочных марок

При большом числе осадочных марок, особенно промежуточных, выдержать требование равенства плеч практически невозможно. Уменьшение влияния неравенства плеч выполняют следующими способами:

- соответствующим выбором нивелирных станций;
- введением поправок за угол наклона оси визирования в отсчеты;
- тщательной поверкой главного условия геометрического нивелирования (визирная ось должна быть горизонтальна);
- наблюдением осадочной марки с двух станций.

При окончании нивелирования приступают к камеральной обработке. Определяют превышения между связующими марками на всех станциях хода. По сумме превышений вычисляют невязку всего нивелирного хода и сравнивают её с допустимой. После распределения невязки по исправленным превышениям вычисляют отметки связующих осадочных марок по формуле

$$H_i = H_{i-1} + h_i, \quad (1)$$

где H_i и H_{i-1} – отметки последующей и предшествующей осадочных марок;

h_i – исправленное превышение между этими марками.

Отметки промежуточных марок вычисляют через горизонт прибора соответствующей станции. Отметки осадочных марок данного цикла измерения выписывают в специальную ведомость осадок (табл.4) и в ней же вычисляют величину осадки каждой марки по формуле

$$S_i = H_0 - H_i, \quad (2)$$

где H_0 – отметка марки в нулевом цикле измерения;

H_i – отметка марки в i -м цикле измерения.

Т а б л и ц а 4

Ведомость отметок и осадок осадочных марок

Номер осадочной марки	Периоды наблюдения				
	нулевой цикл 4.09.10	20.12.10	S , мм	10.03.11	S , мм
	фундамент	1 этаж		2 этаж	
1	88.320	88.305	15	88.283	37
2	88.305	88.292	13	88.271	34
3	88.118	88.091	27	88.081	37
4	88.411	88.390	21	88.372	39
5	88.335	88.319	16	88.300	35
10	87.983	87.965	18	87.950	33

Для наглядного отображения процесса осадки здания или сооружения работу завершают составлением эпюр или графика осадок (рис.3).

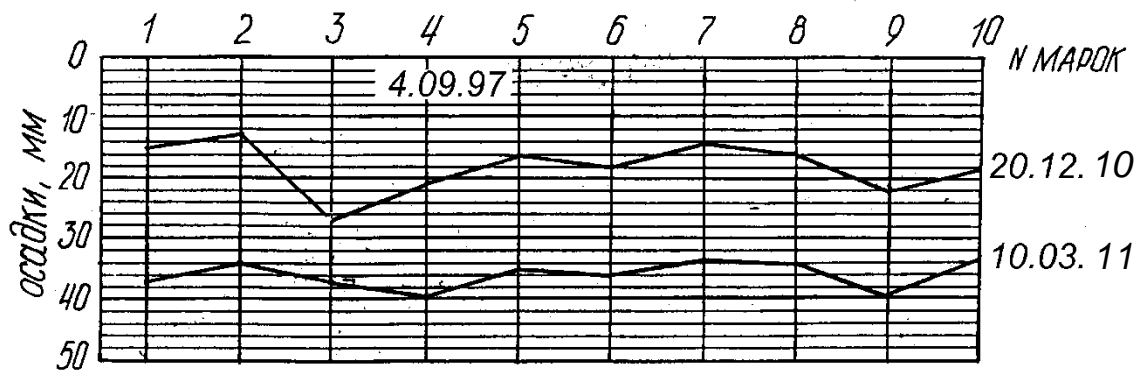


Рис.3. График осадки фундаментов

По вычисленным осадкам определяют основные характеристики деформации зданий и сооружений.

Среднюю осадку здания или сооружения вычисляют по формуле

$$S_{\text{ср}} = \sum S/n,$$

где $\sum S$ – сумма величин осадки всех марок;

n – число всех марок.

Относительное значение прогиба (выгиба) вытянутого отрезка фундамента находят по формуле

$$f = \left[(S_2 - S_1) - \frac{l}{L}(S_3 - S_1) \right] / 2, \quad (3)$$

где S_1, S_3 – осадки крайних марок, расположенных на прямой линии, мм;

S_2 – осадка промежуточной марки, мм;

l, L – расстояния от первой крайней марки, соответственно, до промежуточной и второй крайней марок, мм.

Если промежуточная марка расположена посередине между крайними, то $l/L = 1,2$ и $f = (S_2 - S_1 - S_3) / 2L$.

При обнаружении на зданиях и сооружениях трещин или швов наблюдения за осадками возобновляют.

1.6. Наблюдения за трещинами

Неравномерные осадки и деформации вызывают появление трещин и швов в несущих конструкциях. Наблюдение за трещинами и швами позволяет определить взаимные перемещения отдельных частей зданий или сооружений и выявить причины, способствующие их появлению.

Для измерения трещин в строительстве пользуются различными приспособлениями и способами для фиксирования удлинения трещин, их глубины и ширины.

Удлинение трещин является основным показателем развития деформаций. При этом характерны небольшие трещины, начало и конец которых должны быть зафиксированы. Определение концов трещин требует особого внимания, так как волосяные трещины без помощи лупы зачастую трудно установить.

При наблюдении концы трещин периодически отмечают поперечными к ним штрихами, сделанными краской или острым инструментом. Рядом со штрихом пишут дату наблюдения. В следующем цикле наблюдений такими же штрихами отмечают новые границы трещин. С помощью миллиметровой линейки измеряют расстояние между смежными поперечными штрихами, то есть фиксируют удлинение трещины.

На рисунке 4 представлен процесс затухания **а** и развития **б** трещин.

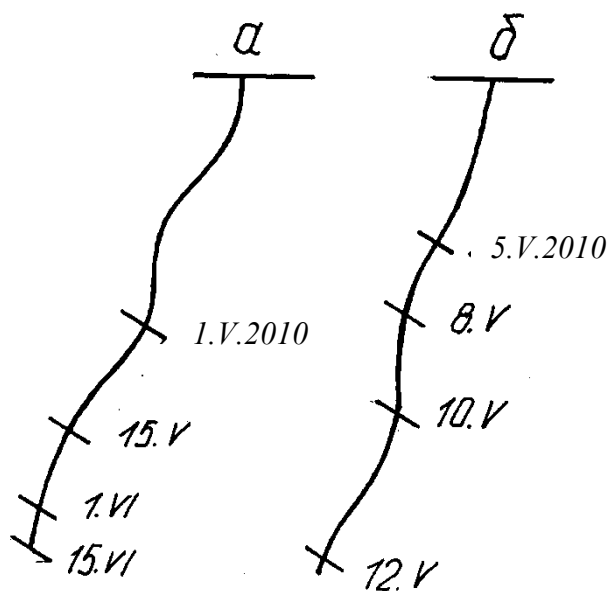


Рис.4. Наблюдения за удлинением трещин

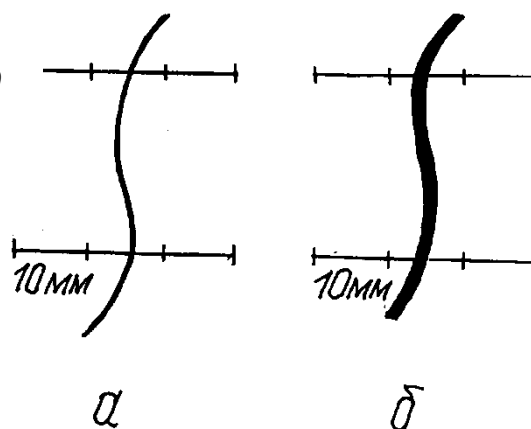


Рис.5. Наблюдения за раскрытием трещин

Наряду с этим измеряют ширину раскрытия трещин и с помощью металлического щупа – их глубину.

Измерение ширины трещин выполняют следующими способами:

1. Перпендикулярно трещине наносят прямую линию и короткие штрихи – царапины через каждые 10 мм, идущие параллельно трещине (рис.5). По нанесенным штрихам производят замеры миллиметровой линейкой в циклах наблюдений и делают выводы о происходящем процессе. Точность измерений составляет 0,3-0,4 мм. Этот способ применяют тогда, когда закрепление всяких заметных приспособлений нежелательно.

2. Наиболее распространено наблюдение за трещинами с помощью маяков различных конструкций, чаще в виде плиток из гипса, алебаstra или

цемента, которые закрепляют поперек трещин. Рядом или на маяке пишут дату и номер, а затем через определенное время проверяют. На активной трещине появится разрыв. Дату разрыва отмечают в журнале наблюдения и закрепляют новый маяк. Использование маяков дает только качественные показатели того, что деформации продолжаются или закончились. Недостаток способа – требуется много времени, а данные характеризуются малой точностью.

Для получения количественной характеристики поведения трещин закрепляют более сложные маяки: металлические, снабженные закладными частями для точных измерений; маяки конструкции И.М.Литвинова, которые позволяют наблюдать за раскрытием трещин как на стене, так и в углах конструкций, а также фиксировать вертикальное смещение одной грани трещины по отношению к другой; маяки Ф.А. Беликова, позволяющие определять взаимное смещение сторон трещины в трех направлениях.

Для измерения деформаций в несущих конструкциях зданий и сооружений применяют жесткие шаблоны – деформаторы. Они позволяют измерять расстояние до двух метров между закрепленными марками с точностью от 0,01 до 0,001 мм.

Для измерения ширины деформационных швов применяют щелемеры, а также дилатометрические скобы, разработанные разными авторами.

Наблюдения за трещинами вышеуказанными способами просты и удобны, но они имеют и существенные недостатки: сложность измерений в труднодоступных местах и тяжелых условиях, а также отсутствие возможности автоматизации процесса измерений. Поэтому в отдельных случаях наблюдения за изменением трещин выполняют методом фотограмметрии. Периодические фотоснимки позволяют с высокой достоверностью определять состояние трещин и их развитие.

1.7. Измерение осадки методом гидростатического нивелирования

При измерении осадки методом гидростатического нивелирования используют гидростатический нивелир или стационарную гидростатическую систему. В принципе гидростатическое нивелирование основано на свойстве свободной поверхности жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном уровне.

Гидростатический нивелир состоит из двух стеклянных сосудов цилиндрической формы, соединенных между собой резиновым шлангом (рис.6).

Стеклянные сосуды и резиновый шланг заполнены кипяченой подкрашенной водой или спиртом так, что жидкость заполняет лишь половину сосудов при установке их на одинаковой высоте. На оправе сосудов нанесены миллиметровые деления с началом шкал у оснований

оправы. В том случае, когда основания сосудов находятся на разных уровнях, превышение будет равно разности отсчетов по шкалам.

Перед использованием нивелир поверяют путем двукратного нивелирования двух точек при установке оснований разных сосудов. Оба результата в пределах точности отсчета должны быть одинаковыми.

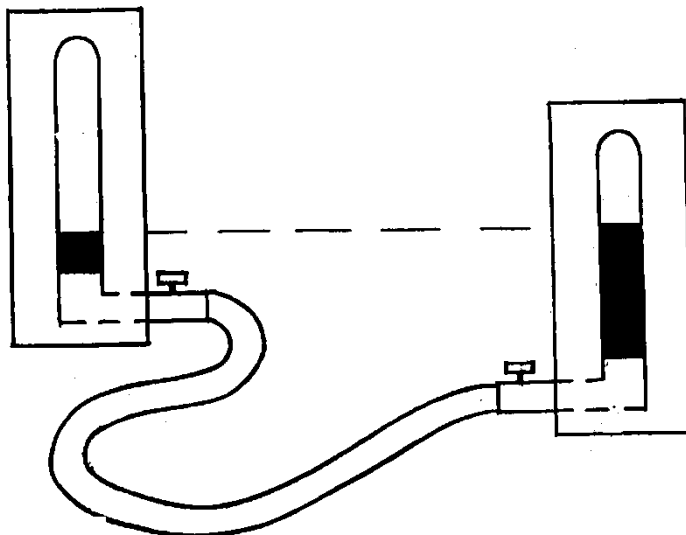


Рис.6. Гидростатический нивелир

Стационарная гидростатическая система (рис.7) состоит из стеклянных трубок-пьезометров 1, закрепляемых к нивелируемой конструкции; переносных измерительных устройств 2, фиксируемых в трубках-пьезометрах; напорного резервуара 3 с контрольным пьезометром и измерительным устройством 4, устанавливаемого в середине гидростатической системы в закрытом помещении на устойчивом фундаменте 5.

Пьезометры соединены между собой и с напорным резервуаром резиновыми шлангами 6, уложенными в защитные водопроводные трубы ниже глубины промерзания грунта.

При определении осадки напорный резервуар служит в качестве опорного репера. В резервуар наливается подкрашенная вода, которая по шлангам заполняет всю гидростатическую систему. По измерительным устройствам 4 и 2 берут отсчеты и вычисляют превышения между наблюдаемыми точками. Величину осадки определяют как разность превышений в первоначальном и последующем циклах измерений.

Гидростатическая система позволяет автоматически фиксировать предельные осадки. Для этого измерительные устройства устанавливают на всех пьезометрах, а их иглы закрепляют над жидкостью на расстоянии, соответствующем предельному значению осадки. Иглы соединяют с постоянным источником тока. Во время осадки наблюдаемой точки пьезометр опускается и игла измерительного устройства, соприкасаясь с жидкостью, замыкает электрическую цепь. В это время на пульте загорается сигнальная лампочка.

Гидростатический нивелир, кроме определения осадок, применяют для перенесения отметок в стесненных условиях, приведения плоскостей конструкций и деталей в горизонтальное положение, построения нулевых горизонтов сооружений и технологического оборудования.

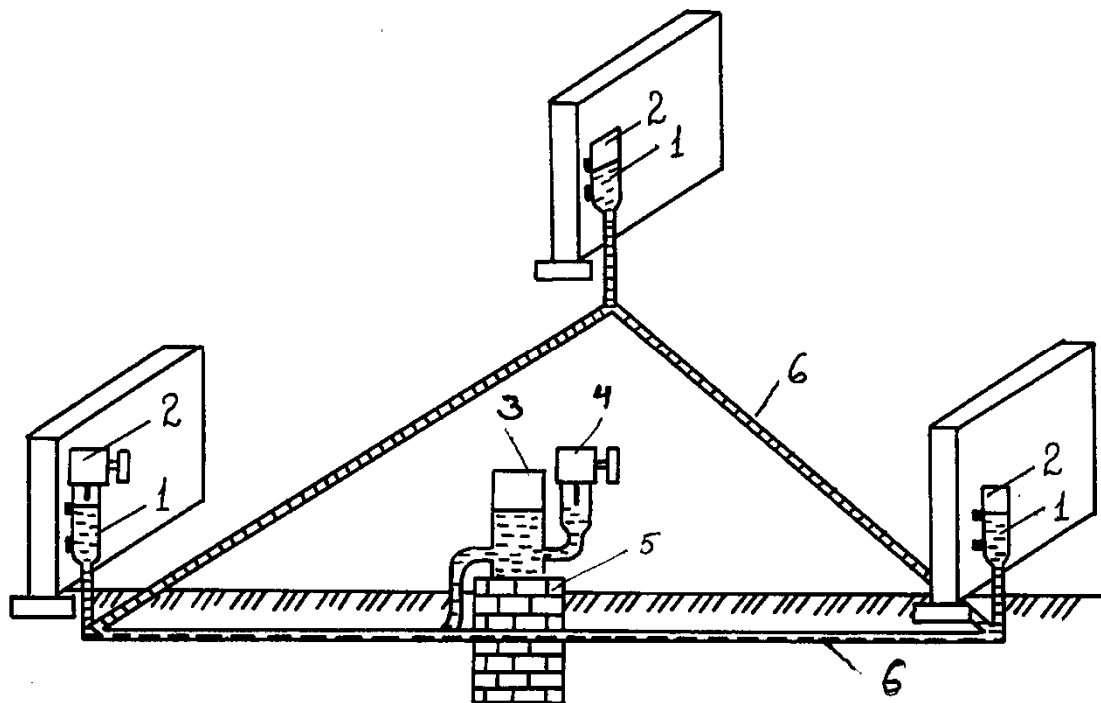


Рис.7. Стационарная гидростатическая система

Стационарные гидростатические системы применяют при необходимости постоянных наблюдений за осадками крупных промышленных зданий, гидротехнических сооружений и сложного оборудования.

1.8. Наблюдения за горизонтальными смещениями зданий и сооружений

При организации наблюдения за горизонтальными смещениями закрепляют опорные пункты, наблюдательные столбы и деформационные марки.

Опорные пункты размещают за пределами подвижек грунта. По конструкции и закладке они идентичны фундаментальным реперам (см.рис.1,а). Центр сферической головки обозначают насечкой или отверстием небольшого диаметра.

Наблюдательные столбы (рис.8,а) располагают на створе и в триангуляции. В качестве столбов применяют трубы, залитые бетоном, или бетонные монолиты в виде усеченных четырехгранных пирамид 2. Высота выступающей части столба над землей составляет до 1,2 м. В верхние грани

столбов 1 вделываются металлические пластинки с тремя пазами-бороздками или концентрическими окружностями для однообразной установки теодолита и визирной марки. Центром столба является точка пересечения пазов. Глубина закладки столбов определяется в каждом конкретном случае, с учетом глубины промерзания грунта и его физико-механических свойств.

Деформационные марки (рис.8,б,в) размещают на зданиях или сооружениях для закрепления наблюдаемых точек. Марки изменяют свое пространственное положение при смещении здания или сооружения.

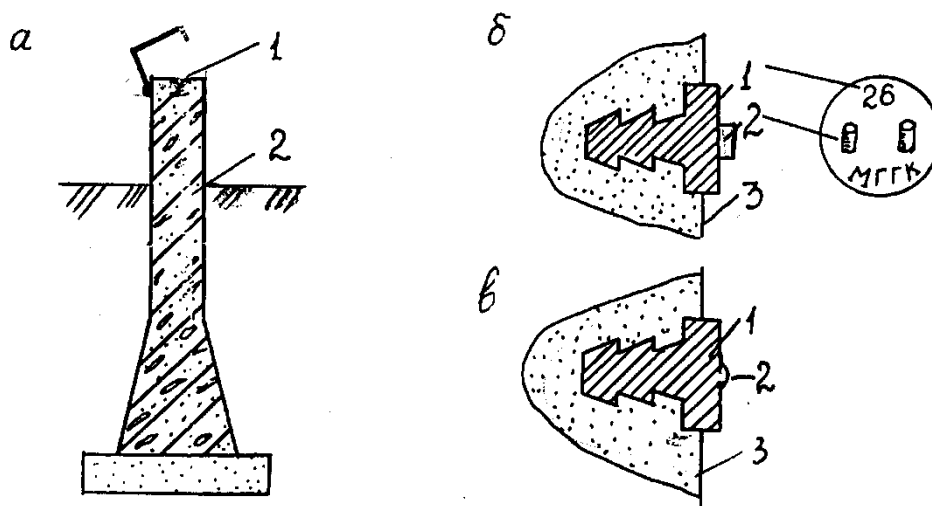


Рис.8. Знаки закрепления точек при наблюдениях за смещениями:
 а – наблюдательный столб; б – деформационная марка с ушками для горизонтальной установки линейки; в – деформационная марка с головкой для упора линейки или пятки рейки

Деформационная марка представляет собой металлический диск 1, закладываемый в стену 3. Если марка предназначена для горизонтальной установки измерительной линейки, то она имеет специальные ушки 2 (см.рис.8,б) для упоров линейки или полусферическую головку 2 (см.рис.8,в) для упора пятки линейки или рейки.

Марки для визирования теодолитом оборудуются визирными цилиндрами или щитками с раскрашенными симметричными фигурами. Визирные приспособления устанавливают так, чтобы ось цилиндра или линия симметрии фигуры щитка совпадала с отвесной линией точки наблюдения, зафиксированной на марке пересекающимися штрихами или центром небольшой окружности.

Допустимая погрешность измерения горизонтальных смещений зданий или сооружений зависит от их типа, свойств грунта, скорости смещения и класса точности измерения (см.табл.3).

Наблюдения за смещениями, так же, как и за осадками, выполняют циклами. В период строительства первый цикл проводят до воздействия на здание или сооружение горизонтальных сил. Последующие циклы

осуществляют по программе наблюдений, а в период эксплуатации зданий или сооружений – не менее двух раз в год (весной и осенью).

Наблюдения прекращают, когда скорость смещения становится менее 2 мм в год, но возобновляют при появлении деформаций.

Горизонтальные смещения чаще всего определяют следующими геодезическими методами: створным, тригонометрическим – триангуляции и засечек, а также комбинированным.

Створным методом определяют смещение прямолинейных контуров зданий и сооружений – ряда фундаментов или колонн зданий, плотин и т.п., а также смещение оползневых пород, то есть в тех случаях, когда наблюдаемые точки можно закрепить на одной линии створа. Сущность створного метода заключается в измерении величин C_1 , C_2 и C_3 (рис.9), представляющих собой отклонения наблюдаемых точек 1, 2, 3 от створа опорных знаков A и B . Отклонения часто определяют по рейке с миллиметровыми делениями, поставленной перпендикулярно к створу AB . При этом над опорным пунктом A устанавливают теодолит и наводят крест сетки нитей на визирную цель марки над опорным пунктом B . Берут отсчеты C_1 , C_2 и C_3 при двух положениях круга теодолита по измерительной рейке, приставленной пяткой к наблюдаемой точке. По полученным отсчетам определяют средние значения и записывают их в ведомость смещений (табл.5). После дальнейших аналогичных измерений вычисляют величину смещения как разность отсчетов по рейке в начальном и наблюдаемом периодах времени.

Т а б л и ц а 5

Ведомость горизонтальных смещений

Номер марки	Периоды наблюдения				
	10.05.10	5.09.10		16.04.11	
	отсчет по рейке, мм	отсчет по рейке, мм	смещение, мм	отсчет по рейке, мм	смещение, мм
1	404,5	410,0	-6,5	414,0	-10,5
2	388,0	392,5	-4,5	396,5	-8,5
3	396,0	391,0	+5,0	387,0	+9,0

При небольшой длине створов (до 250 м) можно использовать горизонтальные шашечные или штриховые реечки и прибор с плоскопараллельной пластинкой. Прибор, установленный в одном конце створа, наводится на марку другого конца створа, а в промежуточных точках ставится реечка, по которой определяется величина отклонения точки от створа.

Для повышения точности измерений линию створа закрепляют от наблюдаемых точек на расстоянии до 0,6 м. С этой же целью для точности взятия отсчета используют подвижную визирную марку. В этом случае

отсчеты берут по шкале марки, установленной на наблюдаемых точках, а величиной отклонения считают разность отсчетов по индексу при установке марки в створе AB и в наблюдаемых точках 1, 2, 3.

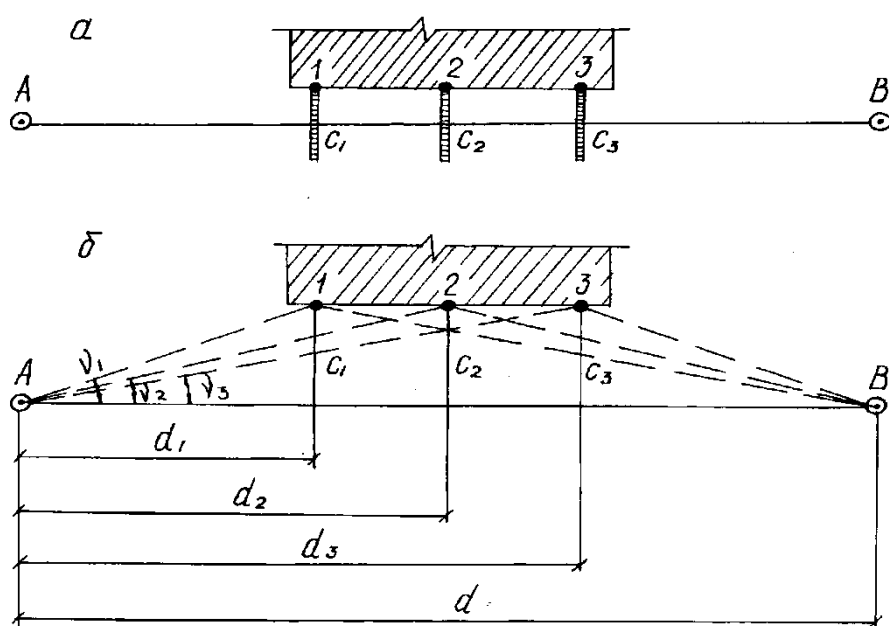


Рис.9. Схема наблюдения за смещениями створным методом:
а – с помощью измерительной рейки;
б – путём измерения малых углов

Иногда отклонение C_i определяют путем измерений малых углов v_i и расстояния d_i (рис.9,б) по формуле

$$C_i = d_i \operatorname{tg} v_i \approx d_i \frac{v_i''}{\rho''}. \quad (4)$$

При измерении малых углов v_i в контрольных точках устанавливают неподвижную марку. Измерения углов, близких к 180° , выполняют оптическими теодолитами Т1, Т2 и др.

Надежность определений в последнем случае зависит от точности измерения малого параллактического угла v_1 , а расстояние d_1 может быть измерено нитяным дальномером. При расчете необходимой точности измерения параллактического угла v_1 нужно учитывать, что ошибка в $1''$ вызывает ошибку в величине поперечного смещения (0,5 мм на каждые 100 м расстояния).

Результаты наблюдений по створам, расположенным по верху сооружений, искажаются из-за изменения температуры воздуха, поэтому наблюдения следует вести по нескольким створам на верху сооружения, расположенным симметрично оси верхней его грани или на разных горизонтах сооружения.

Наблюдения створным методом отличаются удобством, простотой, производительностью и достаточной точностью результатов измерений. Этому методу присущи недостатки в том, что смещения определяются только в одном направлении (по оси X), перпендикулярном к створу AB , а близкое к наблюдаемым точкам расположение опорных пунктов не дает полной уверенности в их неподвижности, а значит, и надежности результатов измерений.

При большом уклонении наблюдаемых точек от створа, больших разностях их высот или при расположении точек в различных местах сооружения горизонтальные смещения определяют методами триангуляции и направлений, а также комбинированным методом (рис.10).

В каждом цикле наблюдений относительно опорных пунктов A и B методом триангуляции (рис.10,а) определяют координаты наблюдательных столбов I, II, III, закрепленных на сооружении (например плотине). По разности координат вычисляют горизонтальное смещение столбов I, II, III по направлениям осей X и Y . Длину базиса AB измеряют с высокой точностью (например светодальномером).

Вектор смещения вычисляют как диагональ прямоугольника (рис.10,б) со сторонами ΔX и ΔY , то есть $\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

При наблюдениях за смещением наблюдаемых точек методом отдельных направлений (рис.10,в) выполняют повторные измерения горизонтальных углов в опорных пунктах A и B , а координаты точек 1,2 и 3 вычисляют угловыми засечками.

При отклонении направлений A_1 и B_1 , A_2 и т.д. от здания до 8° ошибка в определении смещения не будет превышать 1:100 её значения.

Метод отдельных направлений применяют в тех случаях, когда на здании или сооружении невозможно закрепить створ. Этот метод не такой точный, как метод триангуляции, но он менее трудоёмок. Оба метода позволяют определять смещения точек по осям X и Y с высокой достоверностью, но по сравнению с методом створов они отличаются большим объемом измерений и их обработкой.

Если концевые точки створа включают в триангуляционную сеть, то применяют комбинированный метод наблюдения за смещениями (рис.10,г). Этот метод совмещает в себе надежность метода триангуляции и простоту створного метода. Каждый цикл створных наблюдений сопровождается определением координат концевых точек вспомогательного створа I–II и измерением отклонения C_1 , C_2 и C_3 от него наблюдаемых точек 1, 2 и 3.

Если смещения концевых точек створа по оси X не превышают погрешностей определения координат в триангуляции, то смещения наблюдаемых точек находят створным методом по формуле (4). В противном случае в результаты измерения отклонений наблюдаемых точек от створа вводят поправки.

При комбинированном методе наблюдений в сравнении с методом триангуляции уменьшается объём измерений, в сравнении со створным методом – выше достоверность результатов измерений за счет определения возможных смещений концевых точек вспомогательного створа.

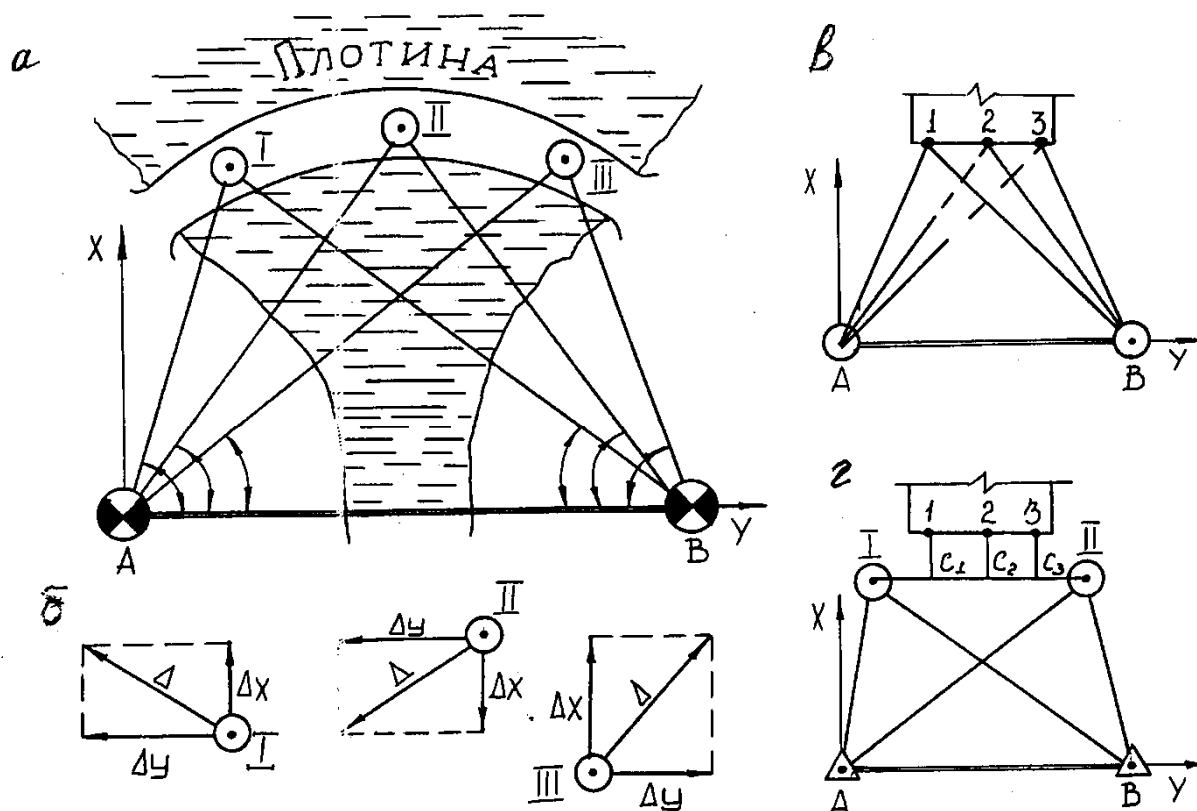


Рис.10. Схема наблюдений за горизонтальными смещениями:
 а – метод триангуляции; б – схема смещения наблюдательных столбов;
 в – метод отдельных направлений;
 г –комбинированный метод

Традиционные методы контроля смещения, например плотины, очень трудоёмки. Использование же лазерной автоматической системы (ЛАС) позволяет автоматизировать процесс измерений и обеспечить оперативность получения информации в текущий момент времени.

1.9. Измерение кренов зданий и сооружений

Крен зданий и сооружений измеряют несколькими способами: вертикального проецирования с использованием отвеса, теодолита или прибора оптического вертикального визирования; горизонтальных углов, угловых засечек.

Общая схема измерения крена (отклонения) способом вертикального проецирования состоит в перенесении по отвесной линии верхней точки В здания (рис.11,а) на исходную горизонтальную плоскость. Отклонение

точки B' от исходной точки A здания характеризует линейную l и угловую α величины крена.

Самым простым способом проецирования является использование тяжёлого отвеса. Его закрепляют в точке B , а отклонения нити отвеса от исходной точки A здания измеряют миллиметровой линейкой в двух взаимно перпендикулярных плоскостях здания и вычисляют общую линейную величину крена по формуле

$$l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (5)$$

Относительную величину крена вычисляют по формуле

$$i = \frac{l}{h}, \quad (6)$$

где h – высота здания, м.

Угловую величину крена α , которая определяет его направление, вычисляют по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (7)$$

В связи с неудобствами, связанными с закреплением отвеса в верхних точках, а также влиянием действия ветра на величину отклонения нити отвеса от вертикали, его используют при высоте зданий и сооружений до 15 м.

При большей высоте, а также для повышения точности измерения крена вертикальное проецирование верхних точек выполняют с помощью теодолита. Его устанавливают над постоянным знаком на продолжении стены здания примерно на расстоянии двойной его высоты. Выбирают в верхней части стены хорошо различаемую точку B (рис. 11, б), наводят на неё зрительную трубу, которую затем опускают вниз. По вертикальной нити зрительной трубы на миллиметровой линейке берут отсчет, измеряя тем самым отклонение точки B' от исходной точки A на величину ΔY . Аналогично измеряют отклонение ΔX в другой вертикальной плоскости и вычисляют общую линейную l и угловую α величины крена по формулам (5) и (7).

Наблюдения за изменениями величины крена и его направлением выполняют периодическими измерениями с одних и тех же постоянных знаков.

При измерении кренов зданий и сооружений высотой до 100 м используют приборы оптического вертикального визирования, которые позволяют определять составляющие крена с точностью до 1 мм.

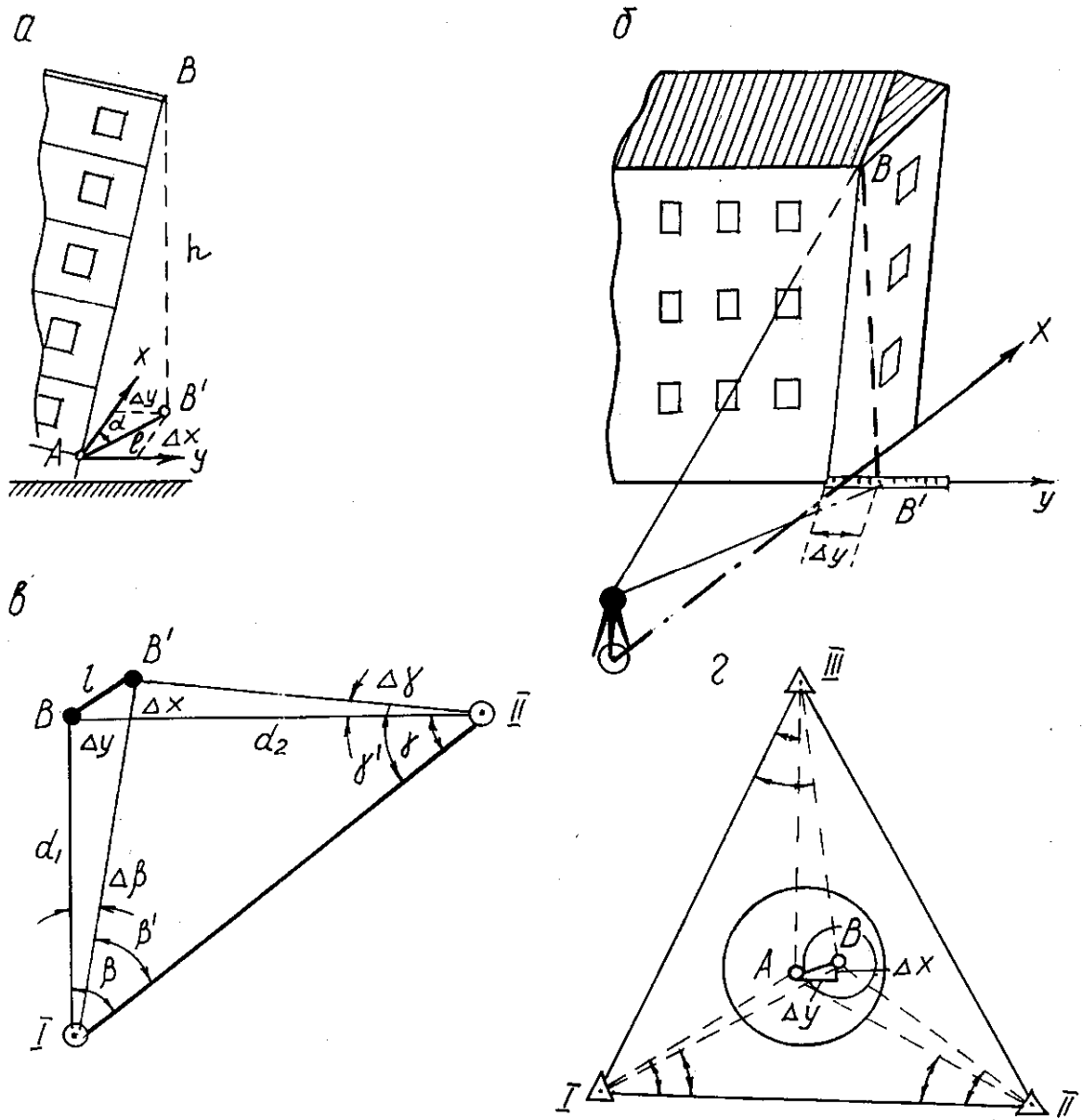


Рис.11. Схема измерения кренов зданий и сооружений:
 а – общий случай способа вертикального проецирования;
 б – с помощью теодолита; в – способом горизонтальных углов;
 г – способом угловых засечек

При измерении кренов способом горизонтальных углов (рис.11,в) с закрепленных постоянных знаков I–II высокоточным теодолитом периодически измеряют горизонтальные углы β и γ между опорными направлениями I–II, II–I (или другими постоянными точками на местности) и направлениями на наблюдаемую верхнюю точку здания B. По разности углов β и γ между циклами измерений вычисляют составляющие крена ΔX и ΔY по формулам:

$$\Delta X = \frac{d_1 \Delta \beta}{\rho''}; \quad \Delta Y = \frac{d_2 \Delta \gamma}{\rho''}, \quad (8)$$

где d_1 и d_2 – горизонтальные проложения от теодолита до наблюдаемой точки B ;

$$\Delta\beta = \beta - \beta'; \quad \Delta\gamma = \gamma - \gamma'.$$

Общий крен и его направление вычисляют по формулам (5) и (7).

При измерении крена способом угловых засечек (рис.11,г) вокруг сооружения на расстоянии не менее одной и не более двух его высот закрепляют опорные пункты I, II и III, прокладывают полигонометрический ход и методом триангуляции вычисляют их координаты. С этих пунктов прямой угловой засечкой определяют координаты точек A и B по оси сооружения у его основания и на вершине (или только на вершине).

При измерении углов принимают во внимание, что ошибка в одну секунду создает погрешность в определении крена до 0,5 мм на каждые 100 м расстояния. Для определения направления на наблюдаемую точку около измеренных углов ставят букву «Л» или «П», обозначающую расположение точки A слева или справа относительно створа со станции на точку B .

По разности координат точек A и B (или одной точки B) в начальном и последующих циклах наблюдений вычисляют составляющие отклонения ΔX и ΔY за данный промежуток времени:

$$\Delta X = X_i - X_o; \quad \Delta Y = Y_i - Y_o. \quad (9)$$

Общие линейную l и угловую α величины крена определяют по формулам (53) и (55).

Способ угловой засечки в основном применяют при определении кренов сооружений башенного типа (дымовых труб, силосных башен, мачт и других вертикальных линий).

При наблюдениях за кренами зданий и сооружений предельная погрешность измерений составляет: для стен гражданских и промышленных зданий – 0,0001 h ; для дымовых труб, башен, мачт – 0,0005 h , где h – высота здания или сооружения.

Для измерения крена колонн высотой до 5 м используют отвес, а для более высоких – теодолит (рис.12). Его устанавливают на двух взаимно перпендикулярных направлениях разбивочных осей колонны на расстоянии $1,5h$ её высоты. Наводят вертикальную нить зрительной трубы на верхнюю монтажную риску колонны A' . Проецируют её на миллиметровую линейку, горизонтально приложенную началом шкалы к нижней монтажной риске A , и устанавливают величину отклонения ΔY . Эту операцию повторяют при другом положении круга теодолита и находят среднее значение ΔY . Таким же образом устанавливают среднее значение ΔX с другой станции. Общую величину крена l и направление его (относительно оси A) определяют по формулам (5) и (7).

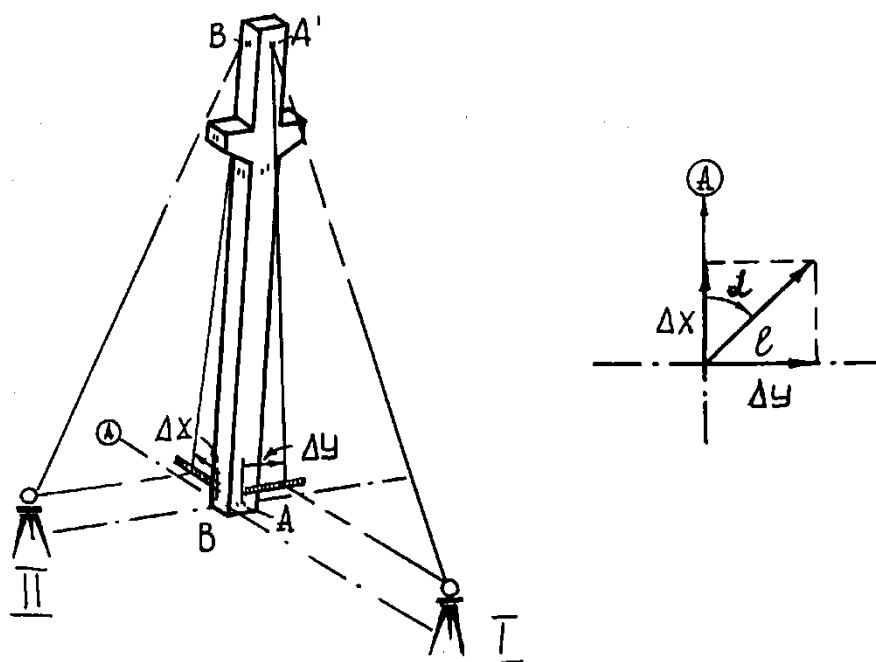


Рис.12. Схема измерения крена колонны

1.10. Измерение деформаций фотограмметрическим методом

Недостатком всех рассмотренных методов измерения осадок, горизонтальных смещений и кренов является то, что измеряется лишь одно смещение – вертикальное или горизонтальное. В отличие от применяемых методов измерения метод фотограмметрической съемки дает возможность одновременно и, что важно, одним прибором измерять смещения неограниченного количества наблюдаемых точек здания или сооружения по двум направлениям координатных осей: по вертикали Z и слагающей горизонтального смещения X , а стереофотограмметрический метод – по трём направлениям: Z , X и Y (рис.13).

Определение деформаций зданий и сооружений фотограмметрическим методом выполняют с помощью фототеодолита и стереофотограмметрических приборов. Наблюдаемые точки $1, 2, 3 \dots n$ периодически фотографируют с концов одного и того же базиса фотографирования при одном и том же положении оптических осей фотокамеры.

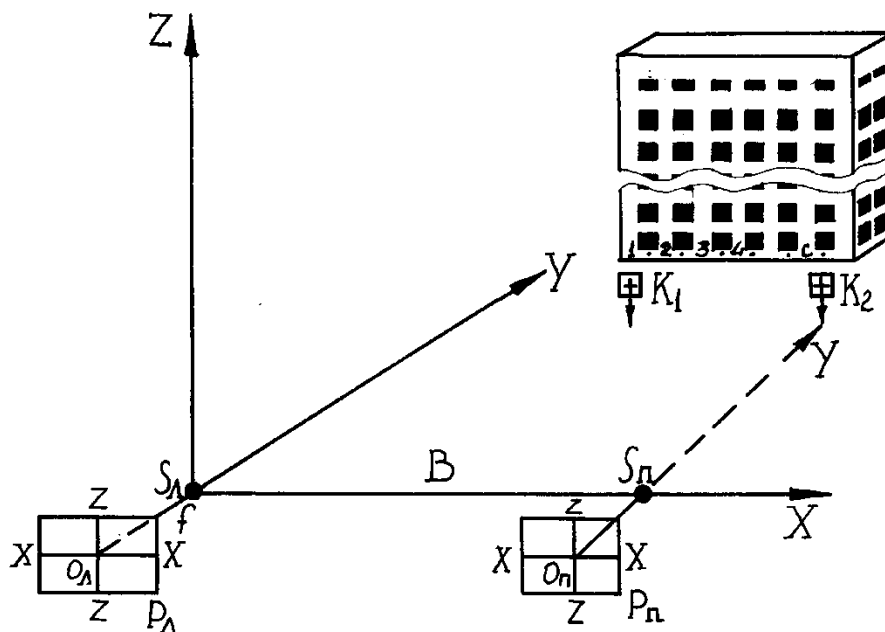


Рис.13. Схема измерения смещений фотограмметрическим методом

Для определения смещений наблюдаемых точек в вертикальной плоскости фотосъемку выполняют с одной станции базиса $S_{\text{Л}}$ и $S_{\text{П}}$. Тогда смещение наблюдаемых точек в вертикальном ΔZ и горизонтальном ΔX направлениях будет равно:

$$\begin{aligned} \Delta Z_i &= Z_i - Z_o = \frac{\Psi}{f} Z_i - \frac{\Psi}{f} Z_o = \frac{\Psi}{f} \Delta Z; \\ \Delta X_i &= X_i - X_o = \frac{\Psi}{f} X_i - \frac{\Psi}{f} X_o = \frac{\Psi}{f} \Delta X, \end{aligned} \quad (10)$$

где X_i , Z_i , X_o и Z_o – координаты i -й точки здания в последующем и начальном циклах измерений;

X_i , Z_i , X_o и Z_o – координаты i -й точки здания на фотоснимке в последующем и начальном циклах измерений;

ΔX , ΔZ – смещения точки вдоль осей X и Z на фотоснимке между циклами измерений;

Ψ – расстояние фототеодолита от наблюдаемых точек;

f – фокусное расстояние фотокамеры.

Примечание. ΔX и ΔZ измеряются по фотоснимкам на стереокомпараторе, а Ψ – стальной лентой или рулеткой.

Для определения смещения наблюдаемых точек по трем направлениям координатных осей фотосъемку выполняют с двух станций $S_{\text{Л}}$ и $S_{\text{П}}$ базиса B .

На стереокомпараторе по двум перекрывающимся фотоснимкам (стереопаре) измеряют фотограмметрические координаты наблюдаемых точек и их горизонтальный параллакс, по которым затем вычисляются пространственные координаты и их смещения. При этом в левую кассету всегда закладывают начальный фотоснимок, а в правую – фотоснимок последующего наблюдения и тем самым определяют величину суммарного смещения на момент последнего наблюдения.

Смещение наблюдаемой i -й точки по направлению осей Y , X и Z , будет равно:

$$\begin{aligned}\Delta Y_i &= Y_i - Y_o = Bf \left(\frac{1}{P_i} - \frac{1}{P_o} \right); \\ \Delta Z_i &= Z_i - Z_o = B \left(\frac{Z_i}{P_i} - \frac{Z_o}{P_o} \right); \\ \Delta X_i &= X_i - X_o = B \left(\frac{X_i}{P_i} - \frac{X_o}{P_o} \right),\end{aligned}\tag{11}$$

где P_i и P_o – горизонтальные параллаксы точек в последующем и начальном циклах измерений, равные разностям абсцисс одноименных точек на левом и правом фотоснимках.

Погрешность определения величин смещения ΔX , ΔY и ΔZ в основном зависит от неизменности положения станций фотографирования $S_{л}$ и $S_{п}$, правильности ориентирования оптической оси фотокамеры в пространстве, величины отстояния базиса фотографирования от наблюдаемых точек, а также от длины базиса B . Поэтому фотокамеру закрепляют на стационарных штативах или тумбах, обеспечивающих точную её установку в ту же точку.

Правильность установки камеры контролируют сравнением координат неподвижных контрольных точек K_1 , K_2 на снимках начального и последующего циклов.

Для равномерного охвата наблюдений базис фотографирования (или несколько базисов) располагают от здания на оптимальном расстоянии, которое определяется резкостью изображения, площадью съемки, а также необходимостью создания прямой видимости между концами базисов для более точного их координирования. Длина базиса определяется по формуле

$$B = Y^2 \frac{m_p}{m_{\psi} f},\tag{12}$$

где m_p и m_{ψ} – погрешности определений горизонтального параллакса и расстояния фототеодолита от наблюдаемых точек.

Из формулы (12) следует, что чем больше длина базиса B , тем меньше погрешность m_{ψ} . Предельный параллактический угол, при котором

возможно стереоскопическое восприятие, равен 150° . При таком значении угла отстояние фототеодолита $\Psi \approx 4B$.

При строгом соблюдении всех требований, предъявляемых к производству фототеодолитной съёмки, деформации зданий и сооружений определяют с точностью до 1-3 мм при удалении базиса фотографирования от наблюдаемых точек на 10–20 м.

Наблюдаемые точки фиксируют на зданиях деформационными марками в виде откраски точек с указанием номера. С этой целью используют хорошо опознаваемые точки дверных и оконных проемов или других конструктивных элементов.

В отдельных случаях для более полной характеристики деформаций её величины, определенные методом фотограмметрии, рекомендуется сопоставлять с результатами наблюдений за осадками здания, полученными методом высокоточного геометрического нивелирования.

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

2.1. Состав и содержание геодезических работ

При оценке эксплуатационных качеств зданий и сооружений проводят техническое обследование, во время которого выполняют геодезические работы по установлению геометрических параметров зданий, сооружений и их основных отдельных конструктивных элементов. Поэтому геодезическое обеспечение здесь является составной частью работ по инженерной оценке сооружения.

В зависимости от состава задания на техническое обследование зданий и сооружений выполняют следующие виды геодезических работ:

- сбор и обработка топографической информации с осмотром существующих геодезических пунктов съёмочного обоснования и выбором места заложения новых;
- топографическая съёмка территории предприятия, отдельных цехов, зданий и сооружений и примыкающих к ним территорий;
- топографическая съёмка каркасов здания и привязка к ним технологического оборудования;
- закрепление планово-высотных геодезических пунктов (теодолитных точек, осевых знаков, реперов, марок);
- определение планового и высотного положений, в также геометрических параметров основных несущих конструктивных элементов зданий;
- определение вертикальности стен и колонн;
- выявление прогибов несущих конструкций (стропильных ферм, балок покрытия, подкрановых балок мостовых кранов и т.п.);
- планово-высотная съёмка подкрановых путей мостовых кранов;
- установление отклонения от прямолинейности и вертикальности колонн, отметок опорных плоскостей консолей;
- съёмка подземных коммуникаций;
- определение кренов зданий, дымовых труб и других высотных сооружений башенного типа;
- наблюдения за деформациями зданий и сооружений.

Исходной документацией, используемой при техническом обследовании зданий и сооружений, являются рабочие чертежи, планы фундаментов, поэтажные планы и разрезы, профили, планы разбивочных осей, схема внешней разбивочной сети, ведомости координат и высот осевых знаков и пунктов разбивочной сети, материалы исполнительных съёмок с указанием отступлений от проектных размеров.

При обследовании сложных и крупных объектов на основании технического задания разрабатывают проект производства геодезических работ (ППГР), который согласовывают с представителем заказчика.

Для осуществления геодезических работ в ППГР предусматриваются определенные методы и способы, а также точность измерения, перечень геодезических приборов и специальных приспособлений, календарный план выполнения работ, мероприятия по технике безопасности. Например, для определения положения в плане и по высоте отдельных конструктивных элементов выбирают методы измерения нивелированием: геометрическим, гидростатическим или тригонометрическим. При створных измерениях используют струнные или оптические приборы.

В связи с тем, что геодезические работы выполняются в действующих цехах, особое внимание уделяется мероприятиям по технике безопасности проведения измерений. На работы оформляется наряд-допуск, в котором указывается время, место работы, мероприятия, обеспечивающие безопасность исполнителей, предохранительные приспособления.

Геодезические работы выполняют в соответствии с действующими СНиПами и инструкциями по системе обеспечения точности геометрических параметров в строительстве.

По результатам геодезических измерений техническая экспертиза выдает заключение о физическом и моральном износе здания, целесообразности его дальнейшего использования, а также принимает решение о его капитальном ремонте, реконструкции или сносе.

2.2. Способы геодезического обмера зданий

В зависимости от конфигурации и высоты здания, а также от выполнения условий измерения отдельных его элементов на практике используют различные способы геодезического обмера.

При обмере простого по архитектурной форме и невысокого здания осложнений в процессе доступного измерения не возникает. Обмер выполняют 20–50-метровой рулеткой с натяжением её вдоль цокольной части здания. В характерных точках здания, расположенных на различной высоте, подвешивают отвес, с помощью которого по шкале рулетки отсчитывают расстояния от угла здания до каждой точки. Для высотных промеров используют лестницы-стремянки или к деревянному щиту прикрепляют рулетку так, чтобы её нуль совпадал с концом щита.

При обмере высокого здания и отдельных его элементов, недоступных для измерения, используют теодолит и рулетку. В этом случае обмер выполняют двумя способами: с перпендикулярного (рис.14,а) или с параллельного базиса (рис.14,б).

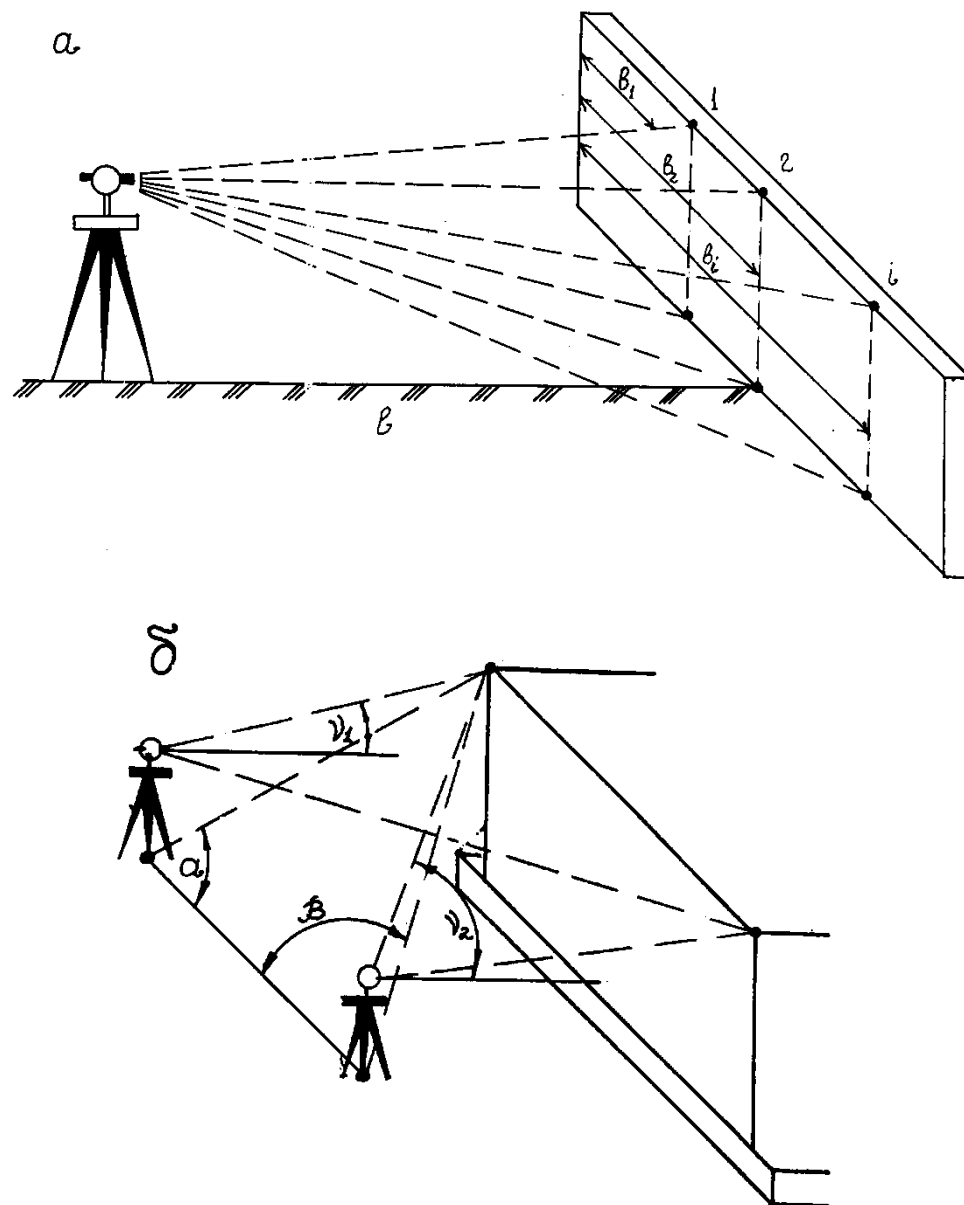


Рис.14. Схема обмера здания с помощью теодолита:
 а – с перпендикулярного базиса; б – с параллельного базиса

Если наблюдаемые точки здания лежат в плоскости стены, то обмер лучше выполнять с перпендикулярного базиса. В этом случае теодолит устанавливают вдоль главной оси здания или перпендикуляра к стене на расстоянии, равном полторы-две высоты здания. Вдоль цокольной части здания натягивают рулетку и при двух положениях круга теодолита проецируют на неё характерные точки здания. Одновременно берут по вертикальному кругу отсчеты на верхние точки и на их проекции на рулетку и вычисляют углы наклона $+v$ и $-v$. По отстоянию теодолита от стены и боковым промерам b определяют горизонтальные проложения l от

теодолита до наблюдаемых точек. Превышения точек над горизонтом прибора вычисляют по формуле

$$h = l \operatorname{tg} v. \quad (13)$$

Высоты точек над цоколем получают сложением положительных и отрицательных превышений.

Если наблюдаемые точки не лежат в плоскости стены, что не позволяет определить расстояние от них до теодолита при способе обмера с перпендикулярного базиса, то обмер здания выполняют способом угловых засечек с точек базиса, закрепленного параллельно стене здания на расстоянии в 1,5–2 его высоты. С точек базиса теодолитом измеряют полным приемом углы засечек α и β на наблюдаемые точки здания, а также их углы наклона v . Решая прямую угловую засечку, вычисляют горизонтальные расстояния от теодолита до наблюдаемых точек, по которым получают превышения. Аналогично определяют высоту любого здания, недоступного для непосредственного измерения.

При больших объемах обмера зданий наиболее точным и производительным является обмер методом стереофотограмметрии. В результате фотосъемки фиксируют один и тот же объект с концов известного базиса и получают два фотоснимка (стереопары), при рассмотрении которых через специальные приборы изображение здания воспринимается как пространственная трехмерная уменьшенная модель. Используя стереоэффект, с помощью специальных приборов (стереографа, стереокомпаратора, стекометра и т.п.) на снимке определяют координаты наблюдаемых точек здания, а по ним выполняют необходимые вычисления. Этот метод применяют для определения положения точек, расположенных в одной плоскости, параллельно которой устанавливают плоскость снимка.

Во всех случаях перед измерением составляют схематический чертеж здания, на котором обозначают все наблюдаемые точки с результатами их обмера.

2.3. Способы измерения вертикальности стен

Необходимость измерения отклонения стен зданий или сооружений от вертикали возникает при решении вопроса о возможности их дальнейшей эксплуатации, а также с целью предупреждения аварии по причине деформации стен.

Наиболее простым методом определения вертикальности стен является измерение расстояний от стены здания до нити тяжелого отвеса или рулетки с грузом, подвешиваемых к консоли, закрепленной к верхней части стены или крыше. Расстояние измеряют линейкой с миллиметровыми делениями на определенной высоте. Аналогичные измерения повторяют в нескольких заранее намеченных местах стены: разрезах между оконными проемами

жилых зданий, между точками опор, в середине несущих строительных конструкций промышленных зданий. Наличие отклонения плоскости стены от вертикали определяют разностью между расстояниями, измеренными у её основания и в верхних точках.

Более точное (в сравнении с использованием нитяного отвеса) измерение вертикальности стен выполняют с помощью теодолита способом бокового нивелирования. В этом случае на одинаковом расстоянии от плоскости стены, обеспечивающем её видимость, в противоположных концах закрепляют две точки. В одной из них устанавливают теодолит, а в другой – визирную марку, на которую наводят коллимационную плоскость теодолита параллельно плоскости стены. Прикладывая к стене пятку рейки или линейки, отсчитывают расстояние до визирной линии теодолита при КП и КЛ. Среднее из полученных измерений в каждой точке принимают за окончательный результат. При необходимости, измерения по всем разрезам стены выполняют и с противоположной точки, поменяв местами теодолит и визирную марку.

На рис.15 представлена схема съемки стены способом бокового нивелирования с использованием двух реек. В этом случае теодолит устанавливают на произвольном расстоянии от стены в точке A (в пределах длины обычной нивелирной рейки). К рискам m_1 и m_2 , закрепляющим продольную ось A , прикладывают две нивелирные рейки так, чтобы они одновременно находились в горизонтальном положении и были перпендикулярны к оси $A'A''$. Зрительную трубу теодолита вращают в горизонтальной плоскости до тех пор, пока по вертикальной нити сетки будут произведены по обеим рейкам одинаковые отсчеты. Отсчеты a_1 и a_2 должны быть наименьшими. Отсчеты по обеим рейкам могут быть одинаковыми во всех случаях одинаковых отклонений реек от перпендикуляров ($a_3 = a_4$), но только при условии минимальности отсчетов будет получено расстояние от базиса T_1T_2 до оси стены $A'A''$. Сделав отсчет $a_{1_{\min}} = a_{2_{\min}}$, записывают его в абрис, теодолит закрепляют по азимуту. Рейки переносят к снимаемым точкам m_3 и m_4 и отсчеты по ним $v_{1_{\min}}$, $v_{2_{\min}}$, ... также записывают в абрис. Для привязки снимаемых точек к размерам оси стены $A'A''$ отсчеты $v_{1_{\min}}$, $v_{2_{\min}}$, ... вычитают из размера $a_1 = a_2$. Промерами рулеткой вдоль стены привязывают точки m_3 и m_4 к поперечной оси $B'B''$.

Одновременно с измерениями вертикальности стены составляют её исполнительную схему, на которую наносят определяемые точки и отклонения в них стены от вертикали. По результатам измерений строят топографический план стены в линиях равных отклонений. Кроме этого, выполняют линейные измерения по периметру здания, по результатам которых оформляют обмерочный чертеж (рис.16).

При измерении стен высотных зданий используют приборы вертикального проектирования.

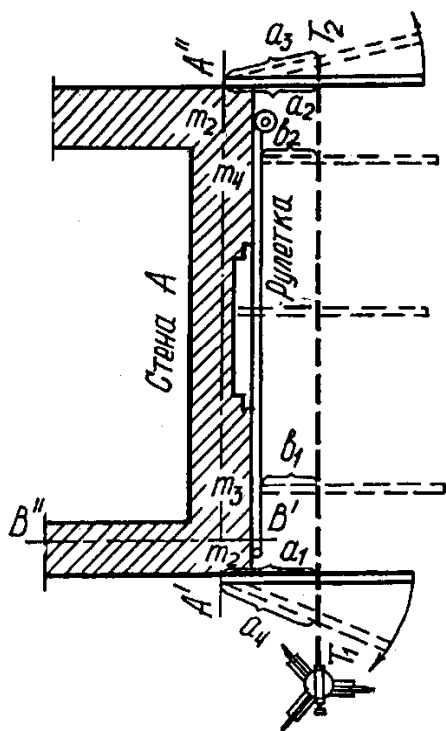


Рис.15. Съёмка стены по способу двух рек

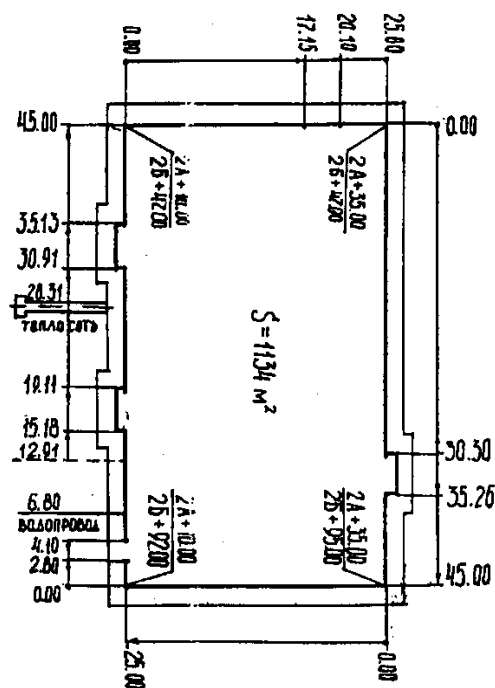


Рис.16. Обмерочный чертеж здания

Во всех вышеуказанных способах наиболее трудоёмкая работа состоит в перемещении рейки на верхних этажах. Для этого используют шесты, лестницы-стремянки, монтажные люльки, оконные проемы и т.п.

2.4. Определение размеров недоступных элементов зданий и сооружений

Методику определения недоступных элементов (точек) зданий, сооружений рассмотрим на нижеследующем примере. Пусть требуется определить размеры недоступных точек 1 и 2 в пространстве на куполе двух башен (рис. 17).

Для решения этой задачи необходимо будет определить:

1. Координаты точек 1 и 2 ($X_1; Y_1; X_2; Y_2$) (рис. 18).
2. Отметки точек 1 и 2 ($H_1; H_2$).
3. Расстояние между точками 1 и 2 в горизонтальной плоскости (d_{1-2}).
4. Дирекционный угол направления 1-2 (α_{1-2}).
5. Линейную величину пространственного элемента (τ_{1-2}).

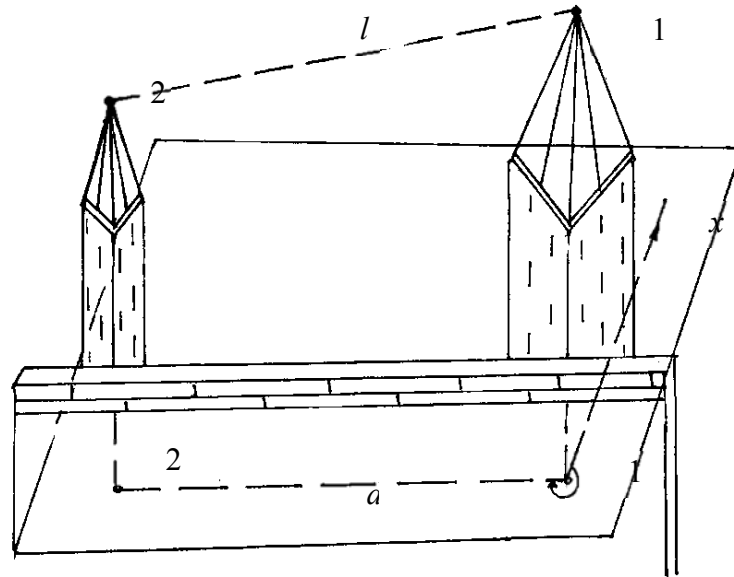


Рис. 17. Схема расположения пространственного элемента и его горизонтальная проекция

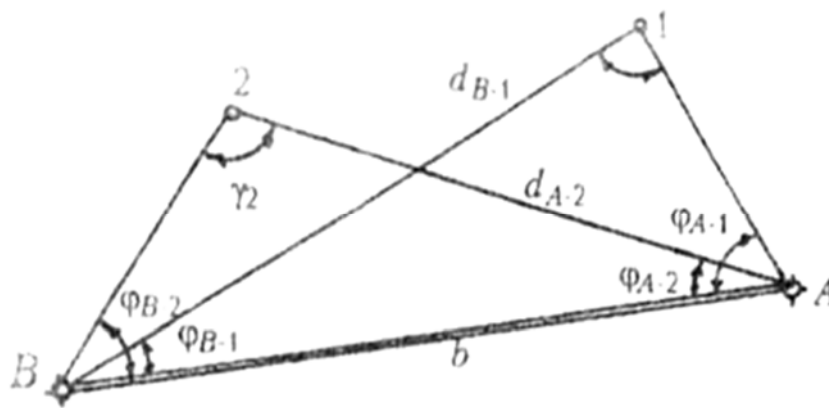


Рис. 18. Схема расположения опорных и определяемых точек



Рис. 19. Схема передачи отметки с опорной на пространственную точку

Значения измеренных величин

Обозначения	Значения
1	2
Величины опорного базиса	
H_A	$65,48 + (N - 1) \cdot 0,5$ м
H_B	$68,60 + (N - 1) \cdot 0,5$ м
b	40,00 м
Измеренная высота инструмента	
i_A	1,45 м
i_B	1,52 м
1	2
Горизонтальные углы	
φ_{A-1}	$68^\circ 30'$
φ_{A-2}	24°
φ_{B-1}	$23^\circ 36'$
φ_{B-2}	$25^\circ + (N - 1) \cdot 1^\circ$
Углы наклона	
ν_{A-1}	$38^\circ 13'$
ν_{A-2}	$5^\circ 40' + (N - 1) \cdot 15^\circ$
ν_{B-1}	$14^\circ 12,3'$
ν_{B-2}	Вариантное значение

- Горизонтальные расстояния d_i от опорных до определяемых точек по теореме синусов вычисляются по формулам:

$$d_{A-1} = \frac{b}{\sin \gamma} \cdot \sin \varphi_{B-1} = K_1 \cdot \sin \varphi_{B-1}; \quad (14)$$

$$d_{A-2} = \frac{b}{\sin \gamma_2} \cdot \sin \varphi_{B-2} = K_2 \cdot \sin \varphi_{B-2}; \quad (15)$$

$$d_{B-1} = \frac{b}{\sin \gamma_1} \cdot \sin \varphi_{A-1} = K_1 \cdot \sin \varphi_{A-1}; \quad (16)$$

$$d_{B-2} = \frac{b}{\sin \gamma_2} \cdot \sin \varphi_{A-2} = K_2 \cdot \sin \varphi_{A-2}; \quad (17)$$

где $\gamma_1 = 180^\circ - (\varphi_{A-1} - \varphi_{B-1})$; $\gamma_2 = 180^\circ - (\varphi_{A-2} + \varphi_{B-2})$.

- Координаты пространственных точек 1 и 2 в условной системе координат вычисляются по формулам:

$$x_1 = d_{A-1} \cdot \cos \varphi_{A-1}; \quad y_1 = d_{A-1} \cdot \sin \varphi_{A-1}; \quad (18)$$

$$x_1 = b - P_1 = b - d_{B-1} \cdot \cos \varphi_{B-1}; \quad (19)$$

$$y_1^K = d_{B-1} \cdot \sin \varphi_{B-1}; \quad (20)$$

$$x_2 = d_{A-2} \cdot \cos \varphi_{A-2}; \quad y_2 = d_{A-2} \cdot \sin \varphi_{A-2}; \quad (21)$$

$$x_2^K = b - P = b - d_{B-2} \cdot \cos \varphi_{B-2}; \quad (22)$$

$$y_2^K = d_{B-2} \cdot \sin \varphi_{B-2}. \quad (23)$$

За положительное направление оси абсцисс в этой системе принимают направление опорной линии AB , а за начало координат точку A .

Контролем вычисления координат пространственных точек 1 и 2 будет служить равенство абсцисс и ординат, полученных по результатам их засечки с опорных точек A и B (рис. 20):

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^K; & y_1 &= y_1^K; \\ x_2 &= x_2^K; & y_2 &= y_2^K; \end{aligned} \quad (72)$$

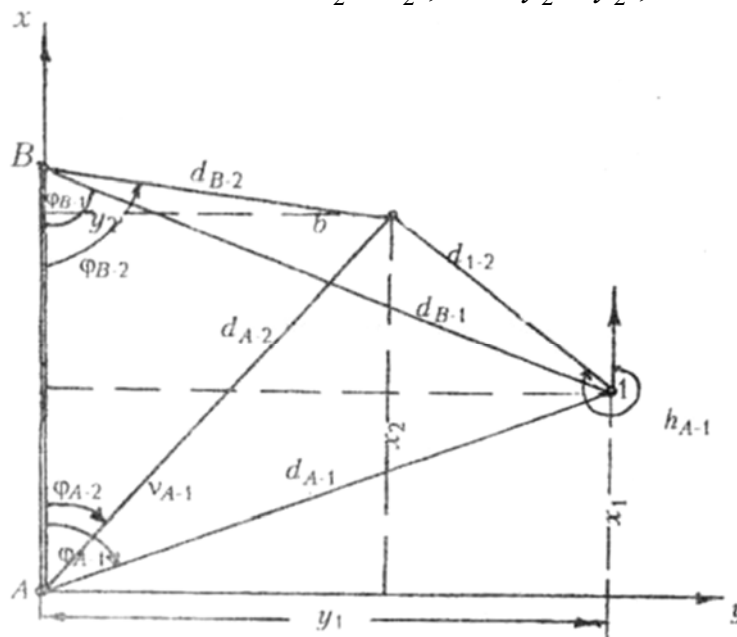


Рис. 20. Расчетная схема определения координат точек

- Вычисляют превышения пространственных точек над горизонтом приборов, расположенных на опорных точках, по формулам:

$$\begin{aligned} h_{A-1} &= d_{A-1} \cdot \operatorname{tg} v_{A-1}; & h_{B-1} &= d_{B-1} \cdot \operatorname{tg} v_{B-1}; \\ h_{A-2} &= d_{A-2} \cdot \operatorname{tg} v_{A-2}; & h_{B-2} &= d_{B-2} \cdot \operatorname{tg} v_{B-2}. \end{aligned} \quad (24)$$

- Вычисляют отметки пространственных точек по формулам:

$$\begin{aligned} H_1 &= \text{ГП}_A + h_{A-1}; & H_1 &= \text{ГП}_B + h_{B-1}; \\ H_2 &= \text{ГП}_A + h_{A-2}; & H_2 &= \text{ГП}_B + h_{B-2}. \end{aligned} \quad (25)$$

Контролем вычисления отметок пространственных точек 1 и 2 будут служить равенства их значений:

$$H_1 = H_1^K; \quad H_2 = H_2^K. \quad (26)$$

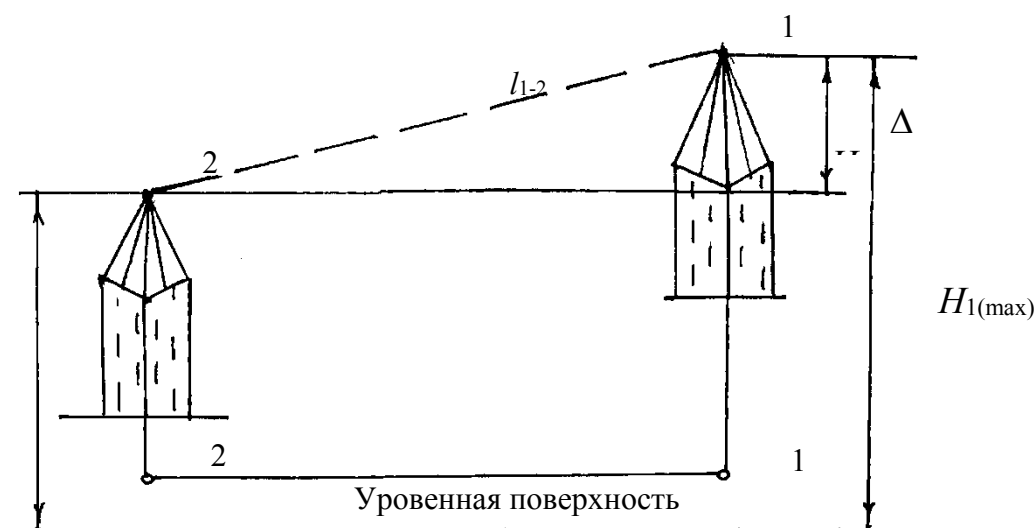


Рис. 21. Схема определения наклонного расстояния

- Вычисляют дирекционный угол α_{1-2} направления 1-2 по формулам:

$$\Delta y = y_2 - y_1; \quad \Delta x = x_2 - x_1; \quad \operatorname{tg} \tau_{1-2} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (27)$$

Для перехода от румба (τ_{1-2}) к дирекционному углу (α_{1-2}) необходимо по знакам Δx и Δy установить четверть и произвести вычисления по формулам, приведенным в таблице.

- Вычисляют с контролем расстояния d_{1-2} в горизонтальной плоскости между пространственными точками 1 и 2 по формуле

$$d_{1-2} = \frac{\Delta x}{\cos \tau_{1-2}} = \frac{\Delta y}{\sin \tau_{1-2}}. \quad (28)$$

- Вычисляют линейную величину пространственного элемента (b_{1-2}) по формуле

$$l_{1-2} = \sqrt{d_{1-2}^2 + \Delta H^2}, \quad (29)$$

где $\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$.

2.5. Планово-высотная съемка элементов здания

Одноэтажные и многоэтажные промышленные здания обычно бывают каркасного типа. Каркас является несущим конструктивным элементом, через который передается на фундамент вся нагрузка от массы здания и оборудования. Соответствие геометрических параметров элементов каркаса проектным значениям во многом определяет прочность, долговечность, эксплуатационные качества здания и его оборудования в целом.

Состав работ при плановой съемке каркаса здания и технологического оборудования определяется техническим заданием на проведение этих работ, в зависимости от которого, а также от конкретных условий выбирают и способ съемки.

Распространенным способом съемки является привязка осей и габаритов оборудования к осям колонн, пилястр и другим конструктивным элементам. Перед началом съёмки путем обмера устанавливают геометрические оси каждой колонны. Оси маркируют чертой на масляной краске. Отклонение осей в нижнем и верхнем их сечениях от продольной и поперечной осей здания определяют методом бокового нивелирования. Если геометрические оси не совпадают с разбивочными, то на схеме указывают размеры между разбивочными и геометрическими осями. Затем линейными промерами измеряют фактический шаг колонн и ширину пролета для каждой пары колонн. Линейными засечками с помощью стальной 20-метровой компарированной рулетки с натяжением её рукой определяют расстояние от характерных точек оборудования до осей колонн с таким расчетом, чтобы для каждой определяемой точки было не менее трех промеров.

Для плановой съемки каркаса здания строят внутренние съемочные сети, схемы построения которых выбирают в зависимости от геометрической формы здания, коэффициента занятости, конкретных условий. Съемку каркаса осуществляют известными способами съемки ситуации.

При наличии в пролете транспортного или людского прохода (обычно в середине пролета) съемку выполняют на основе прямолинейного (створного) или ломаного базиса (рис.22). Для этого на полу цеха в начале и в конце пролета закрепляют две точки A и D , а при длине пролета более

100 м в условиях большой стесненности намечают дополнительные точки B, C в створе AD . Точки базиса закрепляют знаками – металлическими штырями или трубками длиной 50–75 см с диаметром 15–20 мм, а в железобетонном полу – стальными дюбелями. Знаки закладывают в таких местах, где на период съемки и реконструкции может быть обеспечена их неподвижность и сохранность. Центры на металлических знаках обозначают перекрестием, керном, а на деревянных – гвоздями. Расстояние между центрами измеряют стальной рулеткой или светодальномером с точностью 1:5000–1:10000. Если базис впоследствии будет использован для съемки подкрановых путей, то его длину определяют с точностью не ниже 1:10000 в зависимости от ширины пролета.

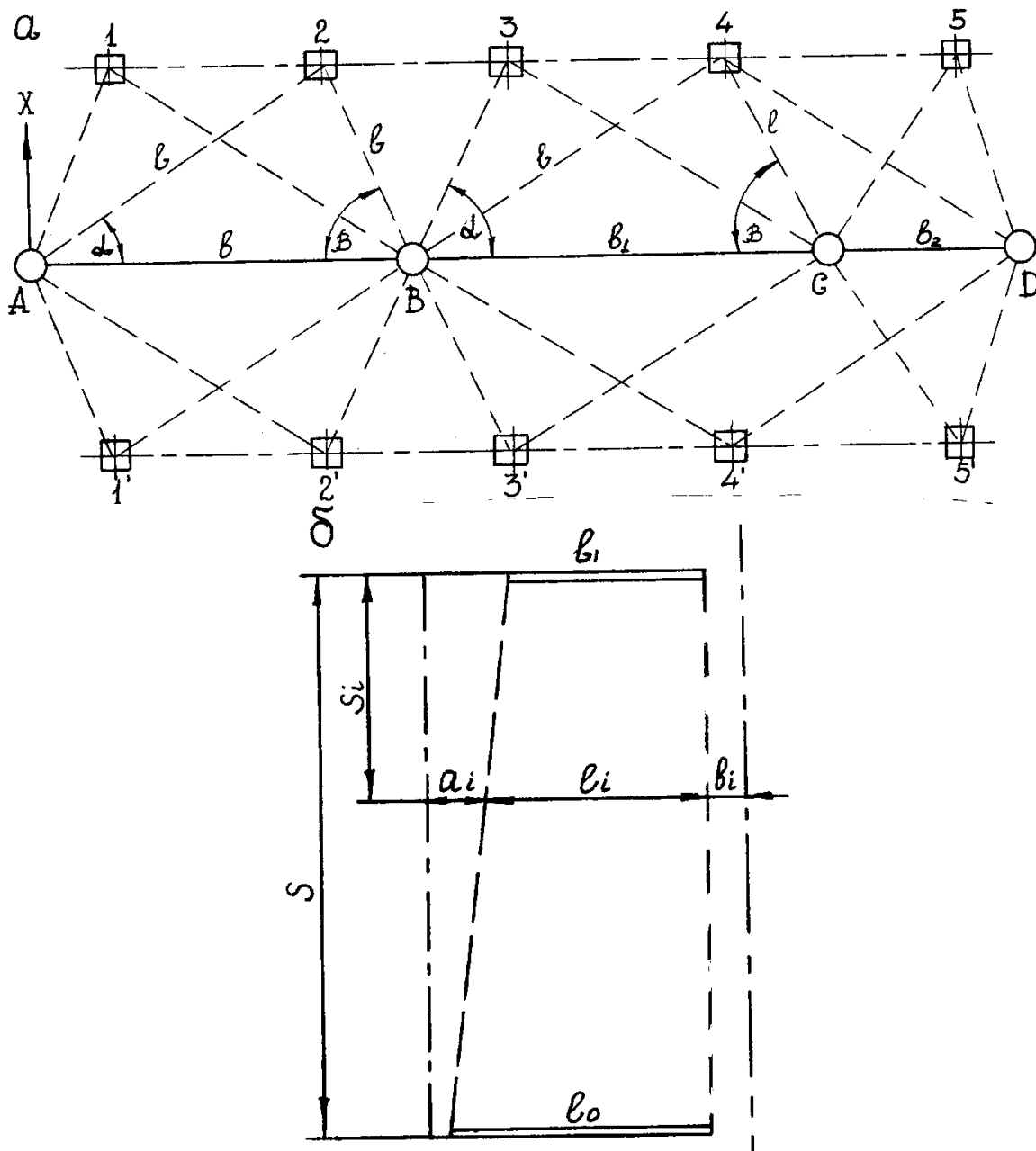


Рис. 22. Схемы съемки внутренних сетей здания:
 а – прямолинейный базис; б – створный четырехугольник

С закрепленных точек способом линейных или угловых засечек снимают маркированные оси колонн. Характерные точки габаритов или осей технологического оборудования привязывают к осям колонн линейными засечками или створными промерами.

По результатам измерений решением угловых или линейных засечек вычисляют координаты осей колонн в условной системе координат или в системе координат съёмочной внешней сети. Для этого внутреннюю сеть здания привязывают к съёмочной внешней сети проложением теодолитных или полигонометрических ходов.

Реконструкция или расширение здания иногда осуществляется в виде пристройки нового здания к существующему, либо продлением пролета существующего здания, либо изменением ширины пролета. В таких случаях координаты колонн следует определять в системе координат съёмочной (разбивочной) сети.

Если съёмка колонн осуществлялась линейными засечками, то их координаты (например X и Y в системе координат съёмочной сети) вычисляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_r &= X_A + b \cos T_{AB} + l_{Br} \cos(T_{AB} - \alpha) = X_B + l_{Br} \cos(T_{BC} - \alpha) = \\ &= X_B + b_1 \cos T_{BC} + l_{Cr} \cos(T_{BC} - \beta) = X_C - l_{Cr} \cos(T_{CB} + \beta); \\ Y_r &= Y_A + b \sin T_{AB} + l_{Br} \sin(T_{BC} - \alpha) = Y_B + l_{Br} \sin(T_{BC} - \alpha); \\ Y_r &= Y_A + (b + b_1) \sin T_{AB} - l_{Cr} \sin(T_{BA} - \beta) = Y_C + l_{Cr} \sin(T_{BA} - \beta), \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где $\alpha = \arccos \frac{l_{Br}^2 + b_1^2 - l_{Cr}^2}{2b_1 l_{Br}}$; $\beta = \arccos \frac{l_{Cr}^2 + b_1^2 - l_{Br}^2}{2b_1 l_{Cr}}$.

В данных формулах используются координаты точек базиса $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C$ и элементы измерений l_A и l_B в линейной засечке.

Аналогично получают координаты остальных точек.

При съёмке точек угловыми засечками их координаты, например X_r, Y_r , определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_r &= \frac{\Psi_B \operatorname{ctg}(B_r) - \Psi_C \operatorname{ctg}(C_r) + X_B - X_C}{\operatorname{ctg}(B_r) - \operatorname{ctg}(C_r)}; \\ X_r &= X_B + (\Psi_r - \Psi_B) \operatorname{ctg}(B_r). \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Если площадь пролета закрыта технологическим оборудованием, но вдоль колонн существует видимость по всей длине (или части) пролета, то в качестве внутренней съёмочной сети используют створный четырехугольник (рис.22) или комбинацию четырехугольников. С этой целью в начале и в конце пролета или в пределах видимости в пролете вдоль поперечных осей разбивают два, три и более базисов. Длины l_0 и l_1 базисов измеряют стальной компарированной рулеткой или светодалномером с

точностью 1:10000. Точки базисов закрепляют осевыми знаками. Установив в одной точке базиса теодолит, а в противоположной по створу – визирную марку, ориентируют по створу коллимационную плоскость теодолита, от которой линейкой измеряют расстояние a_i до осей колонн. Таким же образом измеряют расстояние b_i от смежного створа на другом конце базиса до противоположного ряда колонн. Тогда межосевые размеры l_i для i -го ряда колонн можно вычислить по формуле

$$l_i = (l_o - l_1) \frac{S_i}{S} + l_o + a_i + b_i. \quad (32)$$

Расстояние S_i между поперечными разбивочными осями начального и i -го ряда колонн вдоль створов, а также длины S створов измеряют стальной рулеткой или дальномером с точностью 1:2000– 1:5000. В горячих цехах вместо оптического створа используют струнный.

Для приведения створных измерений к единому створу высокоточным теодолитом измеряют углы поворота створов со средней квадратической погрешностью 1-2".

Высотная съемка выполняется для определения высотного (вертикального) положения конструктивных элементов зданий. Она осуществляется непосредственным промером, геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

В тех случаях, когда конструктивные элементы (например колонны, подкрановые балки, ригели) доступны для непосредственных измерений с пола, высотную съемку выполняют измерением вертикального расстояния l от определяемой точки до линии горизонта нивелира, установленного на полу здания (рис.23). Высоты точек H_i вычисляют по отметке горизонта прибора $H_{гп}$ и обсчетам l_i по формуле

$$H_i = H_{гп} + l_i. \quad (33)$$

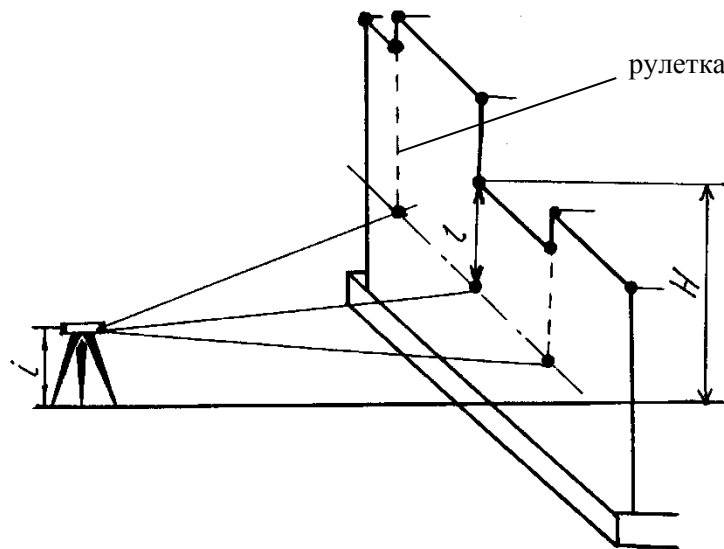


Рис.23. Схема вертикальной съемки геометрическим нивелированием

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Общие сведения о рельсовых подкрановых путях

Наиболее характерными видами разрушения подкрановых конструкций являются: износ подкранового рельса, деталей его крепления, деформация подкрановых балок, осадка или крен колонн. Основными причинами разрушения деталей крепления рельсов подкрановых балок считаются: недостаточная прочность конструкции, неудовлетворительное качество монтажа, несоответствие геометрических параметров путей их проектному значению, деформация несущих конструкций здания. При техническом освидетельствовании зданий и сооружений с наличием подкрановых путей определяют их планово-высотное положение.

3.1.1. Общие положения по соблюдению точности геометрических параметров рельсовых путей

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации кранов и подкрановых конструкций, подкрановые пути должны отвечать следующим требованиям:

1) подкрановые балки должны быть горизонтальны и взаимно параллельны;

2) рельсы должны быть прямолинейны, параллельны, горизонтальны и лежать в одной плоскости;

3) расстояние между осями рельсов (ширина колеи) должно соответствовать номинальному расстоянию между вертикальными осями колеса кранов, т.е. длине пролета кранов.

Эти требования обусловлены влиянием геометрии подкрановых путей на условия работы кранов.

В процессе монтажа подкрановых путей вследствие погрешностей монтажных работ подкрановые пути часто не соответствуют указанным требованиям. При эксплуатации же путей в результате силового воздействия кранов на подкрановые конструкции, осадок фундаментов, опор и действия ряда других неблагоприятных факторов происходит деформация подкрановых конструкций, износ путей и т.п., вызывающие дополнительные отклонения их параметров от проектного значения. Такие отклонения нарушают нормальную работу кранов и подкрановых конструкций.

При движении кранов по путям, имеющим искривления и непараллельность рельсов, отклонения ширины колеи от проектного значения, изменяется направление движения кранов. Реборды ходовых колес кранов набегают на рельсы, вследствие чего на них возникают боковые силы, создающие сопротивление движению. Силовые воздействия

кранов, передаваемые через подкрановые балки на основные конструкции здания, снижают его эксплуатационные качества.

Горизонтальные (боковые) усилия, обусловленные перекосом кранов, создают неблагоприятные условия для эксплуатации и приводят к разрушению путей, подкрановых балок, их креплений, к появлению трещин в подкрановых балках, консолях и т.п. При этом ускоряется износ рельсов и колес кранов, что вызывает значительные затраты на внеплановый ремонт.

Значительные отклонения ширины колеи от номинального значения и криволинейность рельсов являются причиной схода кранов с рельсов.

Сверхнормативные поперечные уклоны пути приводят к неравномерному распределению нагрузки на опоры кранов, что создает неравномерные тормозные усилия, и к перекосу кранов. Для башенных и порталных кранов, кроме того, неравномерное распределение давления на опоры во многих случаях – причина значительной перегрузки опор, приводящей к повреждению опорных конструкций, поломкам ходовых колес и авариям. При сверхнормативном увеличении продольных и поперечных уклонов подкрановых путей башенных и порталных кранов возникает возможность их опрокидывания. Несвоевременный ремонт путей с недопустимыми продольными и поперечными уклонами и изменениями ширины колеи, смещениями центра рельса относительно центра балки и т.п. – главные причины проявления дефектов в подкрановых балках.

Многолетней практикой и специальным исследованием установлены предельные значения допустимых отклонений геометрических параметров подкрановых путей от проектных, не вызывающих существенных нарушений условия работы кранов и мало влияющих на траекторию их движения. Отклонения регламентированы [7] соответствующими допусками на укладку подкрановых путей (табл. 6).

Величина интенсивность изменения параметров путей не может быть predetermined заранее, поэтому контроль состояния путей должен производиться систематически в соответствии с конкретными условиями эксплуатации путей, но не реже сроков, указанных в соответствующих правилах. Такой контроль должен быть оперативным, отражать действительно состояние подкрановых путей и своевременно выявлять изменения их геометрических параметров в той стадии, когда можно произвести рихтовку рельсов, не останавливая производства. Кроме того, такой контроль поможет выяснить причины ненормальной работы кранов и подкрановых конструкций.

Таблица 6

№ п/п	ДОПУСКИ	Мостовые краны		Башенные краны		Козловые краны		Портальные краны		Мостовые перегружатели	
		при укладке	во время эксплуатации	при укладке	во время эксплуатации	при укладке	во время эксплуатации	при укладке	во время эксплуатации	при укладке	во время эксплуатации
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	Разность отметок головок подкрановых рельсов в одно поперечном сечении (в миллиметрах): на опорах в пролете	15 20	20 25	10-25 (под нагрузкой для колеи 2,5-6,0)	25-60	10	15	15	20	20	30
II	Разность отметок головок подкрановых рельсов на соседних колоннах (в миллиметрах)	1:1000	1:750								
III	Отклонение в расстоянии между осями подкрановых рельсов (в миллиметрах)	10	20	–	–	–	–	–	–	–	–
IV	Взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте (в миллиметрах)	2	3	2	3	1	2	1	3	1	2
V	Отклонение рельса от прямой линии: для мостовых кранов – на участке 40м, для остальных – на участке 30м (в мм)	15	20	–	–	15	20	15	20	15	20
VI	Зазоры в стыках рельсов (при температуре +20° и длине рельса 12,5м)	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6
VII	Разность отметок* головок рельсов на длине 100 м подкранового пути (в мм)	–	–	40	100	20	30	15	20	20	30

* При этом максимальная разность отметок точек на всей длине пути не должна быть более 50 мм при укладке и 100 мм при эксплуатации

3.1.2. Наземные рельсовые подкрановые пути

Наземный подкрановый путь (рис.24) состоит из нижнего строения, включающего земляные полотна и водоворот, и верхнего, в которые входят балластная призма, опорных рельсовые элементы (шпалы, балки т.п.), рельсы, рельсовые крепления и тупиковые упоры. Правила устройства путей для башенных кранов регламентированы нормами. Для обеспечения быстрой перебазировки эти пути часто изготавливают в виде инвентарных звеньев на шпалах, рамах или железобетонных балках. Две нитки путей иногда связывают поперечными стяжками.

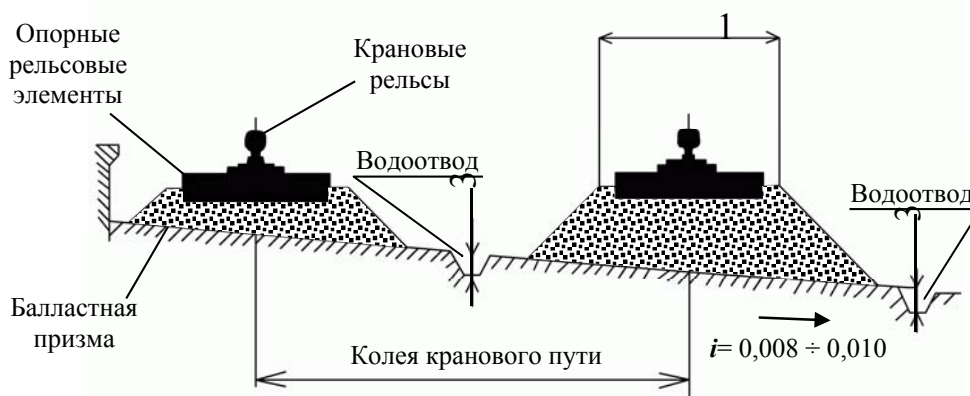


Рис. 24. Строение рельсового подкранового пути

Конструкция наземных путей в основном одинакова, разница заключается лишь в ширине колеи.

Эксплуатация строительных башенных кранов не допускаются при следующих неисправностях подкрановых путей:

1. Имеется продольный или поперечный уклон более 0.01.
2. Рельсы имеют дефекты, указанные в табл. 6.
3. Взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане или по высоте больше 3 мм.
4. Рельсы смещены от проектной оси пути более чем на ± 3 мм.
5. Ширина колеи (расстояние между осями рельсов) имеет отклонения от проектного значения, указанные в табл.6.
6. Упругая просадка рельса под колесом крана превышает 5 мм.

Правилами предусматривается периодический (не реже чем через 12 месяцев) осмотр подкрановых путей всех типов кранов (кроме башенных).

Нивелирование подкрановых путей башенных кранов должно производиться не реже 1 раза в месяц, весной – в период оттаивания грунта через неделю, а фазу после ливневых дождей. Ширина колеи, а также отметки головок рельсов определяются в 3-4 местах рельсового звена.

Для башенных кранов применяют железнодорожные рельсы Р38-Р65, которые обычно крепят прежними планками. На деревянные шпалы и

бетонные балки в местах опирания рельса устанавливают стальные подкладки.

Допустимые значения износа головки рельса (рис.25) приведены в табл. 7.

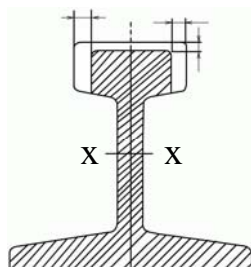


Рис. 25. Износ головки рельса

Т а б л и ц а 7

Допустимый износ головки рельса, мм

Тип рельса	Вид изнашивания		
	t	f_1+f_2	$f-t+(f_1+f_2)/2$
Р38	4	10	8
РУЗ	8	10	8
Р50	9	11	9
Р65	10	13	11

3.1.3. Надземные рельсовые подкрановые пути

Надземный подкрановый путь представляет собой две нитки рельсов, уложенных на подкрановых балках, которые опираются на металлические или железобетонные колонны. В зданиях со стальными колоннами, в зависимости от типа сечений колонн, подкрановые балки могут опираться на консоли, на уступы колонн или на отдельные подкрановые стойки. На железобетонные колонны подкрановые балки опираются на уступ с консолью, а в зданиях с кирпичными стенами (не имеющих колонн) – на кирпичные пилястры.

Длина подкрановых балок соответствует расстоянию между осями колонн (шагу колонн). Величина шага колонн, как правило, кратна 6. В зависимости от конструктивных особенностей здания или сооружения шаг колонн может быть равен 6, 12, 18, 24, 30 м. Длина пролета также обычно кратна 6 и составляет 6-42 м. Высота колонн зависит от необходимой высоты подъема грузов.

Для надземных подкрановых путей применяются железнодорожные рельсы типа Р-38, Р-43, Р-50, Р-65; специальные крановые рельсы КР-70,

КР-80, КР-100, КР-120; шины прямоугольного сечения из прокатной стали с шириной верхней грани 40-140 мм.

Практикой установлено, что наиболее долговечны железнодорожные рельсы.

Подкрановые балки используются металлические длиной 6-30 м и железобетонные длиной 6-12 м. Металлические подкрановые балки имеют ряд преимуществ в отношении монтажа и эксплуатации.

В зданиях и сооружениях подкрановые пути с металлическими подкрановыми балками составляют около 90% общей протяженности, остальные 10% – пути с железобетонными подкрановыми балками.

Кроме рельсов и подкрановых балок, конструкция подкрановых путей включает подрельсовую постель и детали крепления рельсов к постели.

Крепление рельсов к подкрановым балкам может быть подвижным (рис.26) и неподвижным (рис.27). При последнем рельс приваривается к верхнему поясу подкрановой балки (рис.27,а), либо к промежуточной постели (рис.27,б).

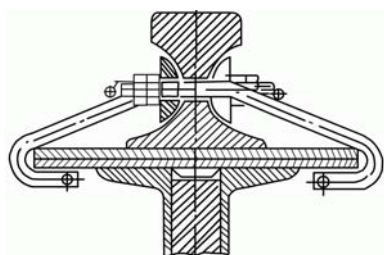


Рис. 26. Подвижное крепление ж/д рельса подкрановой балки

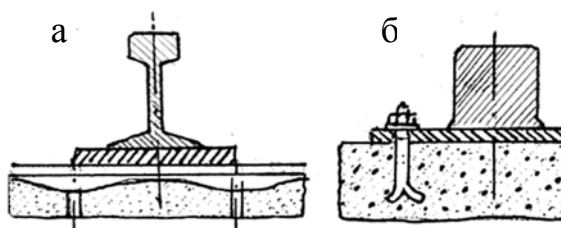


Рис. 27. Неподвижное крепление рельса подкрановой балки:
а) железнодорожного; б) типа – квадрата

Преимущественно применяется подвижное крепление, так как оно позволяет легко и быстро смещать рельсы при их рихтовке.

При неподвижном креплении рельсов к подкрановой балке осуществляется жесткая связь между ними. Однако рихтовка и текущие ремонты такого пути требуют значительных затрат труда, времени и материалов. В условиях непрерывного производства эти факторы имеют большое значение, так как с остановкой кранов нарушается технологический процесс.

В процессе эксплуатации подкрановые пути изнашиваются вследствие воздействия на них неблагоприятных факторов. Происходит естественный износ либо преждевременное разрушение отдельных элементов.

Наиболее характерны следующие виды разрушения подкрановых путей: износ подкранового рельса, деталей его крепления, элементов крепления

постели к подкрановой балке, деформация подкрановых балок, осадка или крен колонн, разрушение основания (наземных путей).

Основной вид разрушения подкранового рельса – деформация и износ его боковых граней в связи с перекосом ходовых колес или моста крана. Значительным отклонением рельсов от прямолинейности, разностью отметок головок рельсов в поперечном разрезе, значительным отклонением ширины колеи пути и пролета кранов от проектного значения.

Причины разрушения деталей крепления рельсов, постели и подкрановых балок: недостаточная прочность конструкции, неудовлетворенное качество монтажа, силовые воздействия кранов на подкрановый путь, несоответствие геометрических параметров путей их проектному значению, деформация (осадки) сооружения или здания.

Подкрановые пути – важная и ответственная часть промышленного здания и сооружения. Преждевременный выход их из строя снижает эксплуатационного качества кранов и подкрановых конструкций и влечет за собой значительные затраты, связанные с задержкой технологического процесса и ремонт путей.

3.1.4. Основные правила техники безопасности при проверке подкрановых путей

На действующем предприятии условия производства геодезических работ отличаются повышенной опасностью. Геодезические операции выполняются, как правило, в стесненных условиях, на высоте, с недостаточным освещением и часто во время работы цеха. Это обуславливает высокие требования к соблюдению правил техники безопасности при проведении геодезических измерений.

Правила (ПБ–10–14–92) обязательны для исполнения всеми работниками и специалистами, занятыми проектированием, изготовлением, ремонтом, реконструкцией, монтажом, эксплуатацией и диагностированием грузоподъемных машин (включая рельсовые крановые пути).

Предприятие – владелец крана при проведении проверок крановых путей обеспечивает соблюдение правил ПБ–10–14–92, «Правил технической эксплуатации электроустановок...», «Инструкции по монтажу и эксплуатации крана» и действующих внутренних нормативных документов по безопасности предприятия.

Руководство предприятия – владельца крана обязано разработать указания (мероприятия, инструкции) по безопасности при обследовании и проверке крановых путей с учетом конкретного объема работ, специфики крана и его рабочей зоны.

Запрещается работа по обследованию крановых путей в грозу, снегопад, гололед, сильный дождь и в темное время суток, а при работе на высоте – при ветре более 10 м/с.

Работы на крановых путях выполняются часто на высоте более 5м и поэтому считаются верхолазными; к ним допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование. Проверку крановых путей производит, как правило, бригада, в состав которой кроме геодезиста должны быть включены два рабочих-замерщика, имеющих право работать на высоте; их необходимо обеспечить предохранительными поясами.

Переход по подкрановым путям разрешается только при наличии предохранительного пояса, закрепленного за неподвижные элементы конструкции: фермы, раскосы, стойки и т.п. или за натянутый вдоль подкрановых путей стальной канат (5-миллиметровую проволоку).

Футляр с геодезическим прибором или приспособление на уровень подкранового пути следует поднимать с помощью веревки, при этом поднимающий должен закрепить карабин предохранительного пояса на канате или неподвижных элементах конструкций. После поднятия приборы нужно предохранять от падения, при необходимости закреплять их веревкой. Запрещается во время перерыва в работе оставлять приборы и приспособления без наблюдения.

Все замеры следует производить при отключении троллейных проводов в зоне производства геодезических работ.

3.2. Плановая съемка подкрановых путей

Плановой съемкой определяют прямолинейность рельсов, расстояние между их осями, смещение рельсовых осей относительно осей подкрановых балок, а также зазоры между стыками рельсов, между колоннами и рельсами. Кроме того, определяют строительный подъем стропильных ферм.

3.2.1. Методы измерения ширины колеи

Ширина колеи может быть определена методом непосредственного и косвенного измерений. Каждый из них применяют в зависимости от конструктивных особенностей подкрановых путей и условия, в которых производятся измерения.

Метод непосредственного измерения. Этот метод включает в себя два способа: способ линейного измерения и механический способ.

Способ линейного измерения состоит в том, что ширина колеи определяется по результатам непосредственного измерения расстояний между осями рельсов в определяемых точках пути. Этот способ применяется на наземных путях, колея которых свободна от грузов, а также на наземных путях, доступных для непосредственных измерений. При этом используются стальные компарированные рулетки, штриховые и шкаловые ленты, проволоки. Натяжение рулетки, ленты. Проволоки контролируется

динамометром. Если измеряемые расстояния менее 10 м, то сила натяжения принимается равной 50 Н (5 кг). Если же больше 10 м – то 100 Н (10 кг). Точность измерения длины пролета будет выше, если ось на головке начертить штрихом, используя деревянный шаблон с осевым индексом (рис.28).

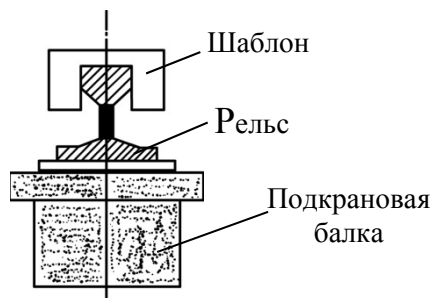


Рис.28. Вынос оси на головку рельса

Ось рельса представляет собой ось симметрии его боковых граней. Перед измерением на верхней грани головки рельса на обеих рельсовых нитях определяют и керном фиксируют точки осей.

Так как ширина колеи изменяется в небольших пределах, то для ее измерения целесообразно использовать простейшее устройство (рис. 29), состоящее из двух струбцин 2 и 7, проволоки 1 и линейки 5 с отсчетным приспособлением. Линейка жестко прикреплена к одной из струбцин, к этой же струбцине при помощи микрометричного винта 8 с фиксатором оси рельса 3 прикрепляется блок 6, на который навешивается проволока, соединенная с отсчетным приспособлением и грузом 4 для ее натяжения. Другой конец проволоки при помощи такого же микрометричного винта с фиксатором прикреплен к другой струбцине. Такое устройство позволяет измерять относительные изменения ширины колеи. Для измерения отклонений от проектного значения устройство следует протарировать. Тарировка выполняется следующим образом.

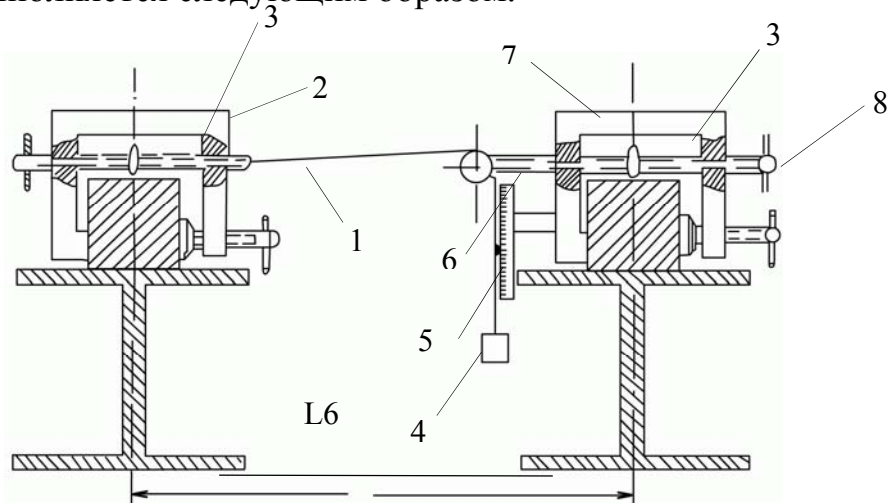


Рис.29. Устройство для непосредственного измерения ширины колеи

На горизонтальной плоскости на расстоянии, примерно равном проектной ширине измеряемой колеи, укрепляются два коротких деревянных бруса, на которых фиксируются точки осей их поперечных сечений. Компарированной рулеткой между ними измеряют расстояние. Затем на брусках укрепляют струбцины и микрометрические винты устанавливают в положение, при котором фиксаторы совпадают с осевыми точками. После этого на блок навешивают проволоку с грузом и отсчетное приспособление закрепляют на проволоке в таком положении, чтобы отсчет на линейке соответствовал отклонению расстояния между намеченными точками от проектной ширины измеряемой колеи.

В качестве отсчетных приспособлений можно использовать линейку с указателем, штангенциркуль, индикатор и т.п.

При пролетах, превышающих длину мерного прибора, берут две рулетки и жестко соединяют их между собой. Измерения выполняются по возможности не на весу.

Для определения длины пролета необходимо застопорить левый динамометр, приставить его шток к боковой грани рельса, вставить в клиновой зажим конец рулетки так, чтобы нулевой штрих ленты совпал с внутренней боковой гранью рельса, и удерживать в таком положении рулетку до окончания измерения, правым динамометром контролировать натяжение, по достижении достаточного натяжения снять отсчет по рулетке и наружной боковой грани рельса (рис.30).

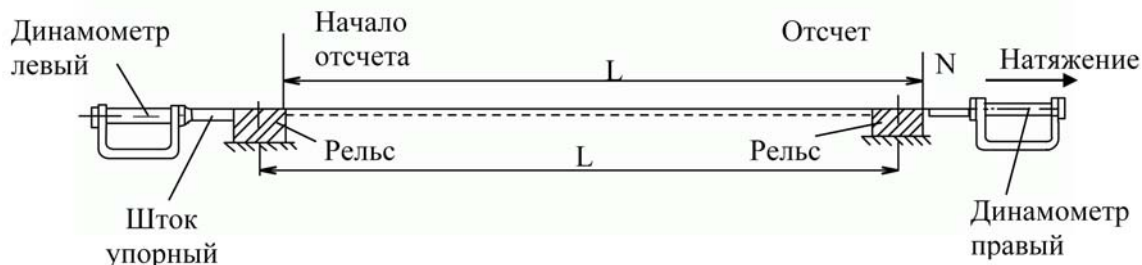


Рис.30. Измерение рулеткой с контролем натяжения динамометром

В измерение расстояния вводятся поправки: за компарирование, за влияние температуры и за привес ленты.

Компарировать инструменты можно контрольным метром, выпускаемым отечественной промышленностью, либо стальной рулеткой более высокого класса точности, применяемыми только для компарирования рабочих рулеток. По результатам компарирования определяют поправку в длину инструмента необходимого интервала, которую вводят в результаты измерения ширины. При этом используют формулу:

$$\Delta l_k = \frac{L_u}{20} \cdot S, \quad L = L_u + \Delta l_k, \quad S_i = l_{\text{э}} - l_i.$$

где Δl_k – поправка за компарирование;

L_u – измеренное расстояние (длина);
 δ – разность длины эталона и рабочей;
 l_{\ominus} – длина точности известной меры (нормальная);
 l_i – длина рабочей меры.

Например. Если рабочая рулетка длиннее нормальной на 5 мм, то в измеренную длину $L=145,625$ м следует ввести поправку, вводится и поправка ΔL

$$\Delta l = \frac{145,625 \text{ м}}{20 \text{ м}} \cdot 5 \text{ мм} = +36,4 \text{ мм};$$

Тогда исправленная длина за компарирования будет:

$$L = L_u + 36,4 \text{ мм} = 145,625 + 36,4 = 145661,4 \text{ мм}.$$

Если же рулетка короче на ту же величину, то поправка ΔL будет со знаком минус, т.е.

$$\Delta L = \frac{145,625 \text{ м}}{20 \text{ м}} \cdot (-5) = -36,4 \text{ мм},$$

а исправленная длина $L = L_u - \Delta l = 145,625 - 36,4 = 145588,6$ мм.

Ширину колеи подкрановых путей измеряют в различных температурных условиях, поэтому одновременно определяют температуру мерного прибора и вычисляют поправку Δl_t

$$\Delta l_t = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t, \quad \Delta t = t_n - t_k,$$

где l_0 – длина рулетки при температуре компарирования;

α – коэффициент температурного расширения (для стали $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-6}$);

Δt – разность параметров при компарировании и измерении (t_u).

Эту поправку, имеющую знак разности температур, вводят в результаты измерения.

Длина мерного прибора $l = l_0 + \alpha (t_u - t_k) \cdot l_0$.

Поправка за температуру вводится в том случае, когда разность температур ленты, рулетки при компарировании и измерении превышает 8° . При учете поправок обычно измеряют температуру воздуха, а не мерного прибора, при этом возникающая погрешность мала и не влияет на точность измерений.

При измерении мерным прибором на весу в результаты измерения входит ошибка, обусловленная провесом инструмента. Предельную величину этой ошибки Δl_{Π} определяют по известной формуле

$$\Delta l_{\Pi} = \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{L},$$

где L – измеряемая ширина колеи;

f – стрела провеса для данной ширины колеи.

Стрелу провеса определяют непосредственным ее измерением (на определенном отрезке) следующим образом. На ровной поверхности забивают 3 столбика так, чтобы верхние их срезы находились на одной высоте, а один из столбиков был расположен в середине. Придавая мерному прибору необходимое натяжение, непосредственным промером определяют величину провеса относительно уровня среднего столбика.

На точность измерения ширины колеи способом линейного измерения влияют следующие факторы: компарирование мерного прибора, провес его, температура окружающей среды, неравномерное нахождение прибора, ошибки фиксации точек и отсчет по шкале, неперпендикулярность прибора к оси пути, колебание его при измерении.

В отдельных случаях, расстояние между подкрановыми рельсами измеряют по отвесам. С этой целью перпендикулярно направленных осей пути (в одном направлении) крепят стержни в виде консолей. К торцам стержней подвешивают тяжелые отвесы. Грузы отвесов погружают в сосуд с вязкой жидкостью. Между нитями отвесов и производится измерение. Для получения полной длины пролета к измеренному расстоянию следует прибавить длину отрезков от нитей отвесов до осей подкрановых рельсов.

Ширину колеи можно измерять прибором И.К. Яценко (рис.31).

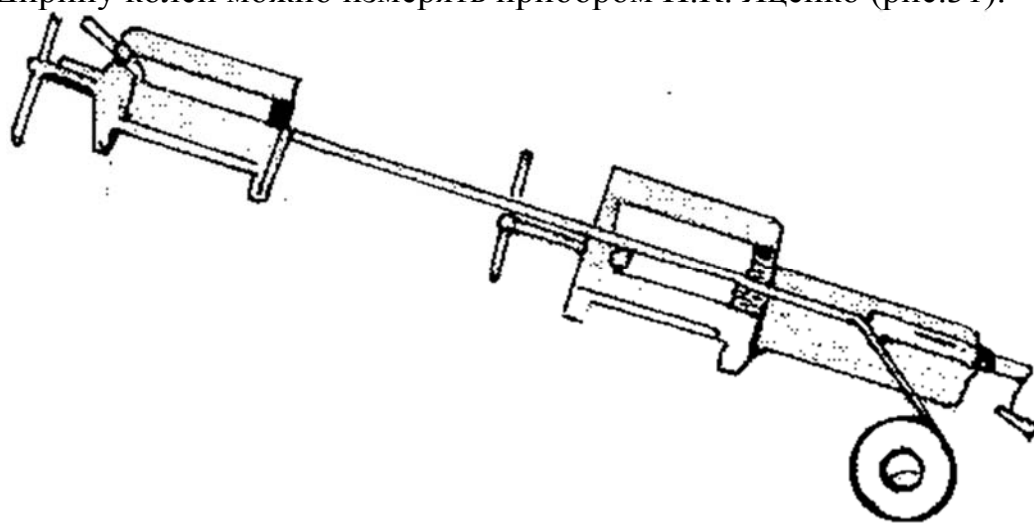


Рис.31. Прибор И.К. Яценко для измерения расстояния между рельсами

3.2.2. Механический способ

Ширина L колеи изменяется в небольших пределах, поэтому она может быть представлена в виде суммы двух величин

$$L_i = B + l_i,$$

где B – некоторая постоянная величина (базис), близкая к проектному значению ширины колеи;

l_i – переменная величина, обусловленная измерениями фактической ширины колеи.

Внедрение вышеприведенной формулы можно осуществить при помощи прибора, имеющего постоянный базис B и регистрирующего малые величины l_i в створе с этим базисом.

Если жесткий базис с заранее определенной длиной B переместить по рельсам вдоль пути и измерить расстояния l' и l'' между осями рельсов и соответствующими концами базиса, то ширина L колеи определится из суммы

$$L = B + l' + l''.$$

Если длину базиса B взять равной проектной ширине колеи, то измеренные величины l будут соответствовать отклонениям ширины колеи от проектного значения.

В качестве базиса можно использовать участок главной балки моста (рамы) крана, а также жесткую балочку из облегченного материала или гибкий стержень (нить), работающий под однозначной нагрузкой на растяжение.

В измеренной технике широко применяют приборы для механического измерения сравнительно малых линейных величин (прогибомеры, индикаторы часового типа и т.п.). Используя эти приборы, на основе рассмотренного принципа А.А. Такшев и В.Ф. Черников разработали устройства для механического измерения относительных отклонений ширины колеи. Основные части таких устройств – контактирующие с боковой гранью рельса ролики, жестко связанные с измерительными приборами. Два идентичных таких устройства неподвижно закрепляют на противоположных концах рамы (моста) крана и фиксируют боковые перемещения крана относительно рельсов и смещения рельсов, вызвавшие измерение ширины колеи.

При этом измерительные приборы устанавливаются таким образом, чтобы смещения контактирующих роликов внутрь пролета давали отрицательный отсчет, а смещения наружу пролета – положительный. Так как поперечные перемещения крана вызывают перемещения обоих роликов на одинаковую величину, но в разных направлениях, то, алгебраически суммируя эти величины, получают непосредственно суммарную величину смещения обоих рельсов, т.е. относительное отклонение ширины колеи.

Репалов И.М. разработал прибор РО-50 для автоматического измерения непосредственно относительных отклонений ширины колеи [2].

Измерения ширины колеи, представленной в виде суммы двух величин ($L_i = B + l$), можно автоматизировать путем регистрации относительных ее измерений l на основе принципа электрического измерения линейных величин. Этот принцип находит широкое применение в измерительной технике, что обусловлено возможностью непрерывного измерения и автоматической записи измеряемой величины, или дистанционного отсчета, сравнительно высокой точностью и чувствительностью измерительных

приборов. В этой аппаратуре измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в электрическую специальными устройствами, называемыми преобразователями, в который используется зависимость электрических параметров, например, электрического сопротивления R проводника от его длины l , выражаемая известной формулой

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где S и ρ – соответственно площадь поперечного сечения и удельное сопротивление проводника.

Если считать значения S и ρ для данного проводника постоянными, то изменение длины проводника вызовет соответственно изменение его сопротивления, т.е.

$$\Delta R = \rho \frac{\Delta l}{S},$$

откуда

$$\Delta l = \frac{S}{\rho} \Delta R.$$

Основная часть прибора РО-50 – потенциометрический датчик линейных перемещений, предназначенный для преобразования относительного линейного перемещения l крана и соответствующего рельса в электрический сигнал. Он представляет собой переменный проволочный резистор, включенный по схеме делителя напряжения (рис.32). Движок сопротивления кинематически связывается с источником входного сигнала (линейной величины l), так что измеряемым перемещением можно считать координату x , характеризующую положение движка относительно начала обмотки потенциометра.

R_x – сопротивление введенной части потенциометра

U – выходные сопротивление датчика

x – входные перемещение

Выбор в качестве преобразователя потенциометрического датчика обусловлен его достоинствами: малый вес и габариты, простота конструкции, возможность питания от источников постоянного тока и т.п.

Прибор РО-50 состоит из двух однотипных электромеханических датчиков линейных перемещений и измерительного блока. Каждый датчик включает в себя передаточный механизм кривошипно-ползунного типа и электрический преобразователь, в котором сигналы передаточных механизмов преобразуется в электрические. На рис. 33 изображен общий вид прибора РО-50.

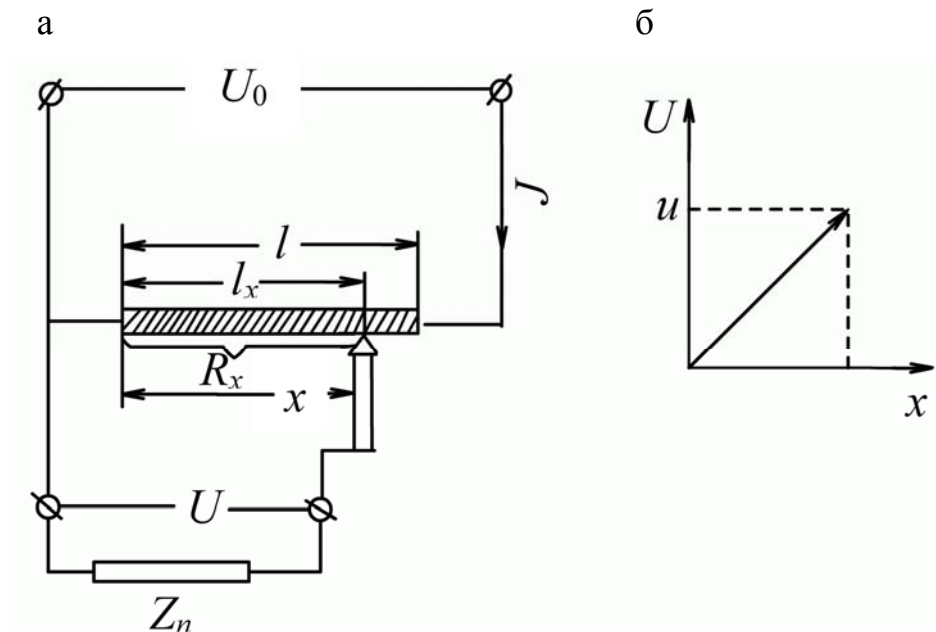


Рис.32. Потенциометрический датчик:
а – схема включения; б – статическая характеристика

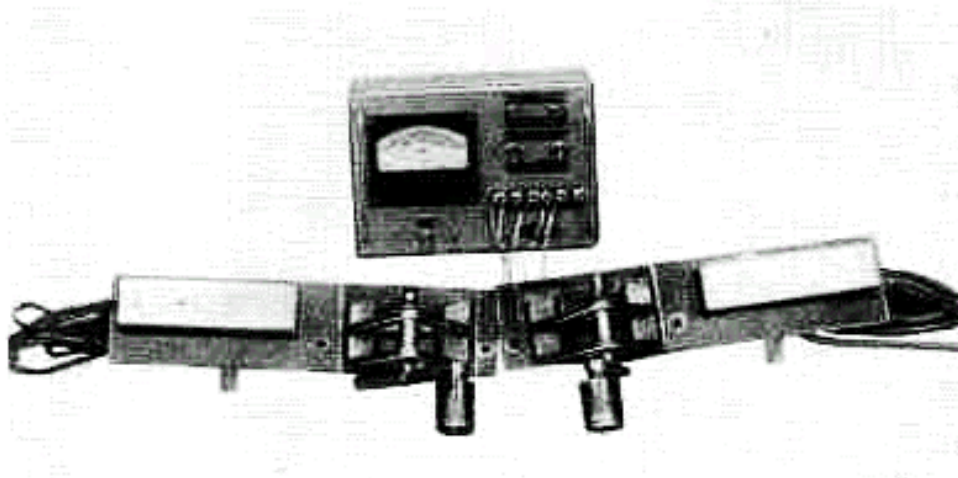


Рис.33. Прибор РО-50

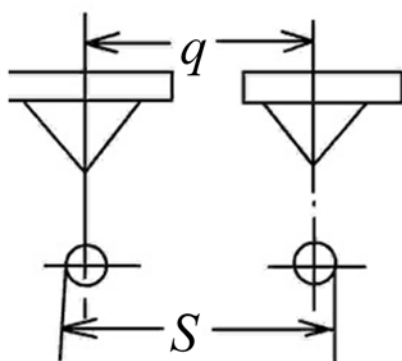
Измерение ширины колеи прибором РО-50 состоит из следующих операций:

- 1) определение необходимой длины базиса;
- 2) разбивка базиса на рамке крана и разметка точек для установки передаточных механизмов;
- 3) установка прибора на кране;
- 4) регулировка прибора;
- 5) измерение ширины колеи.

Как известно, колея подкрановых путей различна. В связи с этим из паспорта крана для каждого пролета, в котором производят измерения, выписывают проектную ширину L колеи. В соответствии с этой шириной определяют необходимую длину базиса с таким расчетом, чтобы по шкале прибора можно было отсчитывать отклонения фактической ширины колеи от проектной. Иначе говоря, длину базиса устанавливают так, чтобы расстояние между точками касания роликов с боковыми гранями рельсов при нулевом положении стрелки соответствовало проектной ширине колеи с учетом ширины головки рельса.

Длину базиса определяют следующим образом.

На стенде, в качестве которого можно использовать стол, при помощи струбцин закрепляют неподвижно передаточные механизмы с таким



расчетом, чтобы расстояние между роликами было 10-15 см при их среднем положении (рис.34). При включении прибора ролики передвигаются в положение, при котором подвижные контакты преобразователей займут среднее положение на реостатах, а стрелка измерителя установится на нуле. На пластинах механизмов в произвольном месте намечаются риски либо фиксируется положение стрелок передаточных механизмов. При помощи штанген-

Рис.34. Определение длины базиса на стенде

циркуля с точность до 0,1 мм измеряют расстояние S между точками контактирования роликов и расстояние q между рисками.

По измеренным расстояниям S и q рассчитывают длину базиса B прибора в зависимости от ширины колеи пути, на котором производится измерение (рис.35).

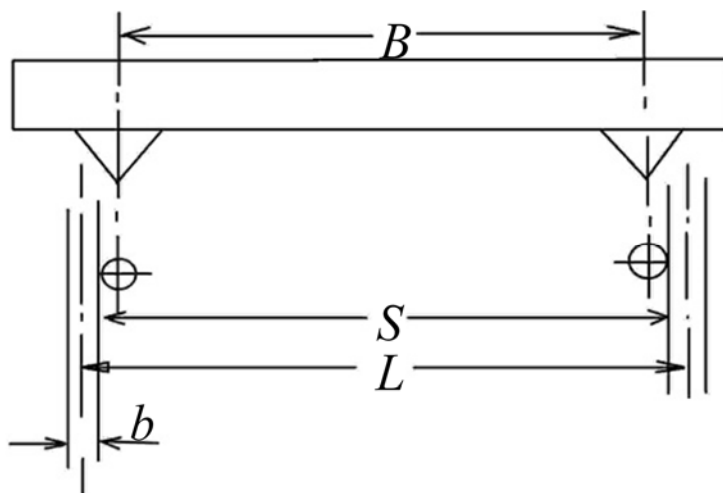


Рис.35. Разметка базиса на кране

Положим, что величины S и q измерены. Тогда по результатам находим разницу между ними

$$S - q = g.$$

Следовательно длина базиса B равна

$$B = S - g, \text{ но } S = L - b,$$

тогда

$$B = L - g - b,$$

где L – ширина колеи;

b – ширина головки рельса.

Измерения можно вести при неизвестной длине базиса: в таком случае прибор регистрирует относительные отклонения, т.е. насколько колея в любой точке пути шире или уже колеи в точке, принятой за исходную.

Методика определения и разметки длины базиса, а также измерения ширины колеи другими приборами аналогична рассмотренной.

Прибор РО-50 и указанные выше устройства позволяют измерять фактически относительные отклонения не ширины колеи, а расстояния между внутренними боковыми гранями головок противоположных рельсов. При этом считается, что ширина головок обоих рельсов в любом месте неизменна, поэтому результаты измерений соответствует отклонению ширины колеи.

Однако, как отмечалось, рельсы (особенно брускового типа) имеют значительный неравномерный износ боковых граней, искажающих ширину колеи.

В таких случаях в каждом случае в каждом указанном устройстве контактирующий с рельсом орган (передаточный механизм) должен иметь два ролика 1, один из которых устанавливается неподвижно на ползуне 2 (рис.36), а другой на рычаге 4, шарнирно укрепленном на том же ползуне. Проводок 3, связывающий контактирующий орган с измерителем или преобразователем, укрепляется шарнирно на середине рычага.

Рычаг устанавливается на ползуне в соответствии с шириной головки рельса, для чего в ползуне просверливаются отверстия.

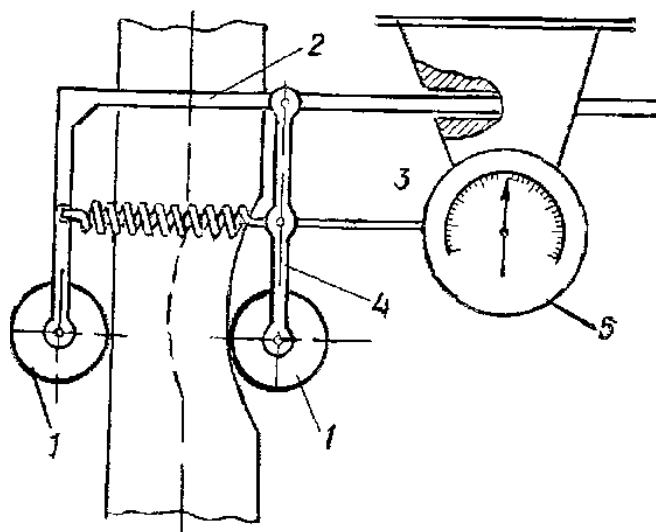


Рис. 36. Передаточный механизм для измерения расстояний между осями рельсов

Кинематическая схема такого устройства, разработанного И.М. Репаловым, представлена на рис. 36. Это устройство позволяет измерять относительные отклонения расстояния непосредственно между осями рельсов с учетом степени износа боковых граней.

3.2.3. Косвенное измерение

Метод косвенного измерения состоит в определении ширины колеи, положению точек рельсовых осей, координируемых относительно пунктов вспомогательной опорной сети, создаваемой в цехе. Вид геодезического построения зависит от условий производства измерений. Способ съемки точек с пунктов сети выбирают в зависимости от вида сети и местных условий.

При небольшой протяженности подкрановых путей (если позволяют условия) в пролете на уровне пола разбивается базис и с его концов определяют положение рельса прямой угловой засечкой. При большой же протяженности подкрановых путей создается опорная геодезическая сеть (полигонометрия, микротриангуляция), стороны которой служат базисами засечки.

Относительно точек хода в последствии прямыми угловыми засечками определяют положение точек рельсовых путей. Поэтому точки располагают вдоль хода таким образом, чтобы горизонтальные углы в треугольниках составляли $30-150^\circ$. Указанные точки закрепляют знаками – металлическими штырями длиной 50-75 мм, диаметром 20-25 мм, а в железобетонном полу – стальными дюбелями. Знаки закладывают в таких местах, где на период измерения может быть обеспечена их неподвижность и сохранность. После фиксации центров измеряют расстояния между ними и углы с точностью полигонометрии I-II разрядов (рис.37).

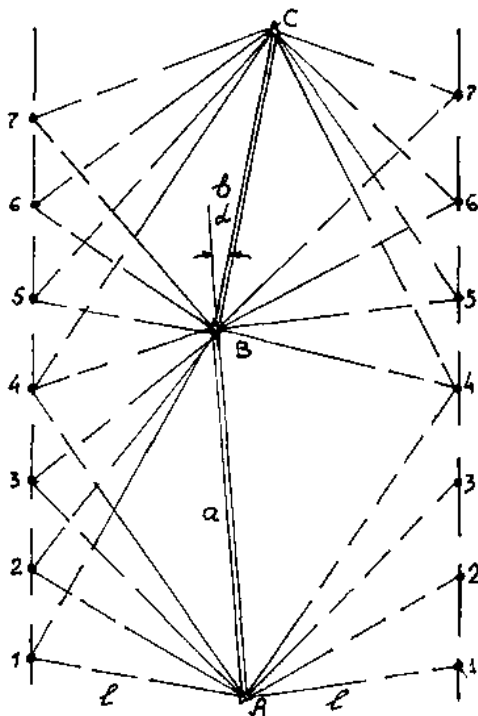


Рис.37. Способ «ломаного» базиса

Положение точек рельсовых осей относительно базиса определяют прямыми угловыми засечками с двух-трех пунктов. С этой целью на каждом рельсе фиксируют точки рельсовых осей, в которых при измерении углов устанавливают визирную марку непосредственно на головке рельса, либо на штативе с оптическим прицелом.

на головке рельса, либо на штативе с оптическим прицелом.

Целесообразно использовать штатив конструкции И.К. Яценко (рис.38).

Установку визирных марок осуществляют с мостового крана, которые используют для перемещения людей во время измерений.

Горизонтальные углы измеряют одним-двумя полными круговыми приемами – с замыканием горизонта при помощи теодолита 5-10-секундной точности с накладными уровнями и оптическими центрами.

На основании результата измерений решением прямых угловых засечек определяют координаты точек рельсовых путей в условиях системы координат. Для удобства вычисляют за одну из координатных осей может быть принято направление базиса. Если базис представляет собой ломанную линию, то каждый прямой отрезок этой линии принимается за самостоятельную координатную ось.

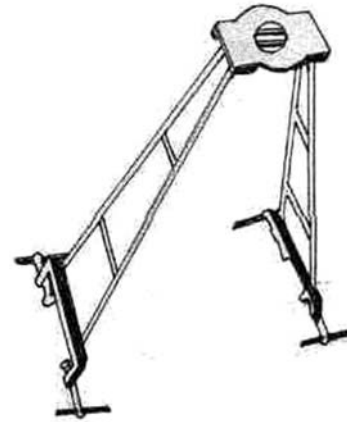


Рис.38. Штатив И.К. Яценко для закрепления геодезического прибора на рельсах

Пусть имеем измеренные длины отрезков $AB=a$, $BC=b$ (см. рис.37) вспомогательного базиса AC и горизонтальные углы AB_1 и AB_1' прямой угловой засечки на определяемые точки $1, 2, \dots, 1', 2', \dots$, а также угол α поворота координатных осей.

Из рис.37 имеем

$$l = a_1 \frac{\sin B_1}{\sin 7}; l_2 = a \frac{\sin A_2}{\sin 2}; l_1' = a \frac{\sin B_1'}{\sin 1'}; l_2' = a \frac{\sin A_2'}{\sin 2'}$$

$$l_7 = b \frac{\sin C_7}{\sin 7}; l_8 = b \frac{\sin B_8}{\sin 8}; l_7' = b \frac{\sin C_7'}{\sin 7'}; l_8' = b \frac{\sin B_8'}{\sin 8'}$$

Приняв направление AB за исходную ось X , получим

$$X_1 = l_1 \cos A_1 = \frac{a \cdot \sin B_1 \cos A_1}{\sin 1} \text{ или } X_1 = a - l_2 \cos B_1 = a \left(1 - \frac{\sin A_1 \cos B_1}{\sin 1} \right)$$

$$X_{1'} = l_1' \cos A_1' = \frac{a \cdot \sin B_1' \cos A_1'}{\sin 1'} \text{ или } X_{1'} = a - l_2' \cos B_1' = a \left(1 - \frac{\sin A_1' \cos B_1'}{\sin 1'} \right)$$

$$Y_1 = l_1 \sin A_1 = \frac{a \cdot \sin B_1 \cdot \sin A_1}{\sin 1} \text{ или } Y_1 = l_2 \sin B_1 = \frac{a \sin A_1 \cdot \sin B_1}{\sin 1}$$

$$-Y_{1'} = l_1' \sin A_1' = \frac{a \sin B_1' \cdot \sin A_1'}{\sin 1'} \text{ или } -Y_{1'} = l_2' \sin B_1' = \frac{a \sin A_1' \sin B_1'}{\sin 1}$$

Приняв направление отрезка BC за ось x , таким же образом определим x_7, x_7', y_7, y_7' и т.д.

Если все точки должны быть определены в единой для данного пролета системе координат, то измеряют углы между отрезками ломанной линии. Каждый отрезок принимают за самостоятельную координатную ось, относительно которой вычисляют координаты соответствующих ей точек. Затем один из отрезков принимают за исходные направления и по углу поворота осей по известным из аналитической геометрии формулам перевычисляют координаты всех точек в единой системе. Вычисление координат для данного пролета в единой системе необходимо только в их случаях, когда по ним определяются прямолинейность рельсовых путей.

По полученным координатам осевых точек рельсов вычисляют ширину колеи, а также определяют отклонения рельсов от прямолинейности. Так расстояние L_{ii} между парой точек, лежащих в основном поперечные пути.

$$L_{ii} = \sqrt{(x_i - x_{i'})^2 + (y_i - y_{i'})^2}.$$

Это расстояние соответствует определенной ширине колеи. Если базис представляет собой прямоугольник, параллельный оси пути, и служит в качестве одной из координатных осей, например, x , то расстояние $L_{i-i'}$ будет равно $L_{i-i'} = y_i + y_{i'}$.

Способ микротриангуляции

Если построить базис невозможно, то в качестве вспомогательной опорной сети можно использовать цепь треугольников, называемую «микротриангуляцией». В этом случае на полу цеха намечают точки в качестве вершин углов треугольников. При этом должна быть соблюдена взаимосвязь видимость соседних точек и чтобы горизонтальные углы в них находились в пределах $30-150^\circ$ (рис.39).

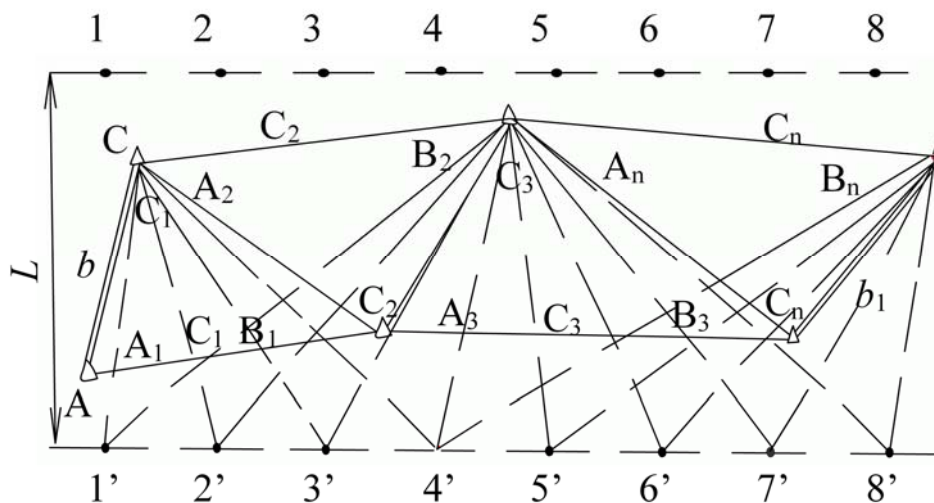


Рис.39. Схема микротриангуляции

В полученной цепи треугольников измеряют все внутренние горизонтальные углы и одну из сторон, являющуюся исходной. Углы измеряют теодолитом средней точности (5-10 секунд) по трехштативной системе. Ориентирование трубы осуществляется по визирным маркам. Теодолиты и марки центрируют оптическим центриром.

Исходную сторону измеряют компарированной рулеткой или инварной проволокой с точностью полигонометрии I-II разрядов. Если позволяют условия в цепи треугольников измеряют две крайние стороны.

После увязки измеренных углов вычисляют длины сторон между пунктами, с которых производят съемку рельсовых точек.

Координаты пунктов опорной сети вычисляют в условной системе. Исходную сторону принимают за одну из координатных осей, а одну из ее точек – за начало координат.

Положение точек рельсовых путей относительно пунктов триангуляции можно определить двумя способами: прямыми угловыми засечками с этих пунктов и способом створных измерений.

По вычисленным координатам пунктов микротриангуляции и дирекционным углам с них на определяемые точки вычисляют координаты точек рельсовых путей. Затем по полученным координатам вычисляют расстояние между точками одноименных поперечников пути (ширина L колеи), а также определенные отклонения точек рельсовых осей от прямолинейности.

Рассмотренный способ косвенного измерения ширины колеи способом прямых угловых засечек имеет существенный недостаток – большой объем угловых измерений и вычислений. А неравномерное распределение температуры воздуха в цехе по высоте, вызывающее рефракции оптического луча, снижает точность условий измерений.

Способ «четырёхугольника».

В практике геодезических построений имеет место способ «четырёхугольника».

В начале и конце пролета намечают 4 точки, являющиеся вершинами углов замкнутого четырёхугольника (рис.40). Местоположение точек выбирают таким образом, чтобы между ними была видимость и расстояние между рельсами и линиями, проходящими через соответствующие пары точек, было минимальным. Точки расположены на

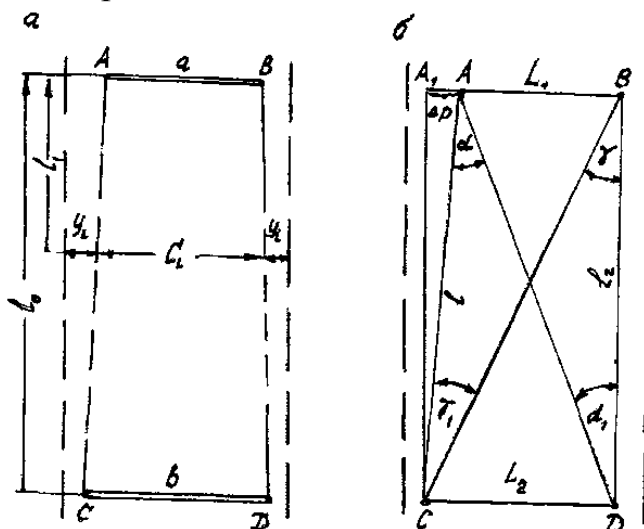


Рис.40. Схема четырёхугольника

полу цеха, либо на уровне подкрановых путей. На полу цеха их закрепляют металлическими штырями с насечкой центра, а на подкрановых путях – кронштейнами, приваренными к подкрановым путям балкам и колоннам.

Между каждой парой точек в поперечнике пути измеряют расстояние (базисы, a и b), а также отклонения y_i и y_i' осевых точек рельсов от линии AC и BD . Ширина колеи в поперечнике будет равна

$$L_i = c_i + y_i + y_i',$$

где $c_i = a + (b - a) \frac{l_i}{l_0}$

Базисы измеряют точно полигонометрии I-II разрядов, а между каждой парой точек по длине пути l_i с точностью 0,1-0,2 м. Они могут быть взяты из рабочих чертежей. Базисы можно определить непосредственным промером или косвенным методом. Если точки закреплены на уровне рельсов и расстояние между ними определено способом непосредственного измерения, то для повышения точности эти точки проектируют на плоскость пола. Для этой цели используют нитяные или оптические отвесы.

Если исходные точки расположены на полу, а для съемки точек рельсовых осей они переносятся на уровень рельсов при помощи нитяных отвесов или приборов вертикального визирования.

Польский инженер Г. Бриш и А. Гралак – рекомендуют следующим способом измерения ширины колеи. В исходных точках A, B, C и D (см. рис.40,б) измеряют углы α и α_1, γ и γ_1 с точностью $\pm 0,2''$.

Длины линий $AC=l_1$ и $BD=l_2$ измеряют стальной лентой с точностью до сантиметра (± 1 см). Принимая $\alpha - \alpha_1 = \Delta\alpha, \gamma_1 - \gamma = \Delta\gamma$ и $l_1 \approx l_2$ поперечное смещение $\Delta\beta$ точки A_1 от прямой AC , проходящую через точку C параллельно прямой DB , вычисляют по формуле:

$$\Delta\rho = \frac{1}{2\rho''} (l_1 \cdot \Delta\alpha'' + l_2 \cdot \Delta\gamma'').$$

Отклонение точек рельсов от прямых AC и BD измеряют теодолитом при помощи подвесной визирной марки. Ширина L_1 колеи в поперечнике AB и L_2 в поперечнике CD вычисляют по формуле

$$L_1 = l_2 \cdot \operatorname{tg}\alpha_1 \approx l_1 \cdot \operatorname{tg}\gamma_1$$

$$L_2 = L_1 + \Delta\rho$$

В остальных точках ширина колеи определяется графически с плана, построенного по результатам измерения в масштабах: поперечных отклонений осей рельсов 1:1, ширины колеи 1:200.

При недоступности непосредственного измерения базиса на уровне рельсов применяют *косвенный метод*. Недоступные расстояния измеряют

известными способами. На рис. 41 приведены схемы косвенного определения длины базиса

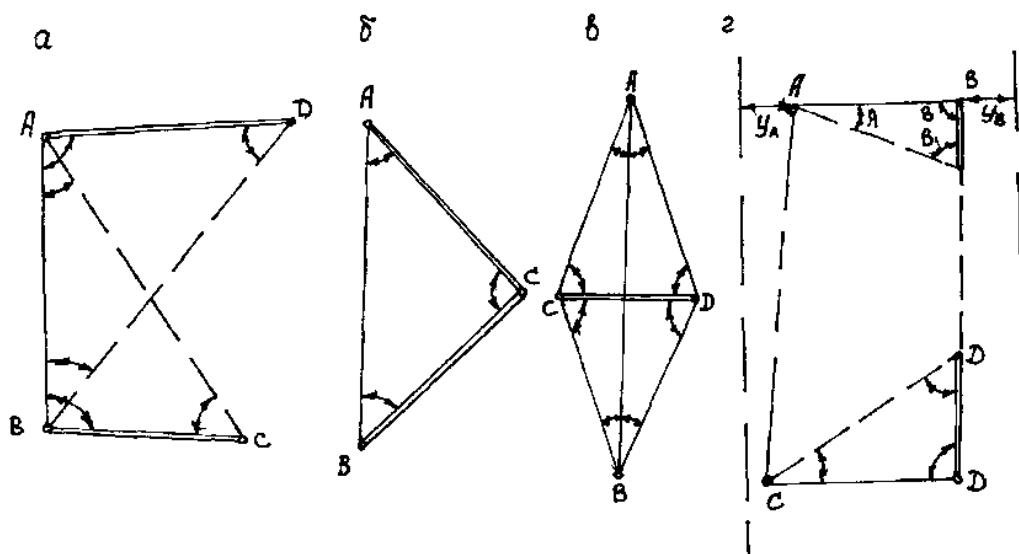


Рис.41 Схемы косвенного определения длины базиса:

а, б, в – базис расположен на полу;
г – расположен на уровне рельсов

При измерении на уровне рельсов вспомогательные стороны располагают на самих рельсах, что повышает точность их измерения. При этом исходные точки на рельсах можно не закреплять: измерения выполняют при помощи трех штативов с отвесами.

В точках A , B и B_1 (рис.42) устанавливают три штатива с отвесами. Теодолитом, (точность $t=30''$) измеряют горизонтальные углы A , B и B_1 по штативной системе. Ориентирование трубы осуществляют по визирным маркам или отвесами. С этой целью трегеры со штативов не снимают до конца измерений. Длину вспомогательных сторон BB_1 измеряют компарированной рулеткой, а расстояние y_A и y_B от отвесов до рельсовых осей – линейкой. Таким же образом производят измерения в точках C и D . Для контроля базисы AB и CD можно определить дважды (по двум вспомогательным сторонам, расположенных на противоположных рельсовых нитях).

Трех штативная система наблюдений исключает ошибки центрирования и редукиции. Для установки теодолитов и визирных марок целесообразно использовать специальные штативы И.К. Яценко, которые исключают необходимость устройства специальных площадок.

Отклонение рельсовых осей от прямых AC и BD определяют измерением расстояний от соответствующих точек рельсовых осей до створов, проходящих через точки A и C , B и D . По измеренным расстояниям AB и CD ,

а также по отклонениям y_i точек рельсовых осей от прямых AC и BD определяют ширину колеи в соответствующей точке.

Для определения ширины колеи может быть применяться метод прямой угловой засечки с использованием лазерного теодолита. Сущность метода заключается в следующем. Непосредственно на мостовом кране или внизу на уровне пола разбивается базис d .

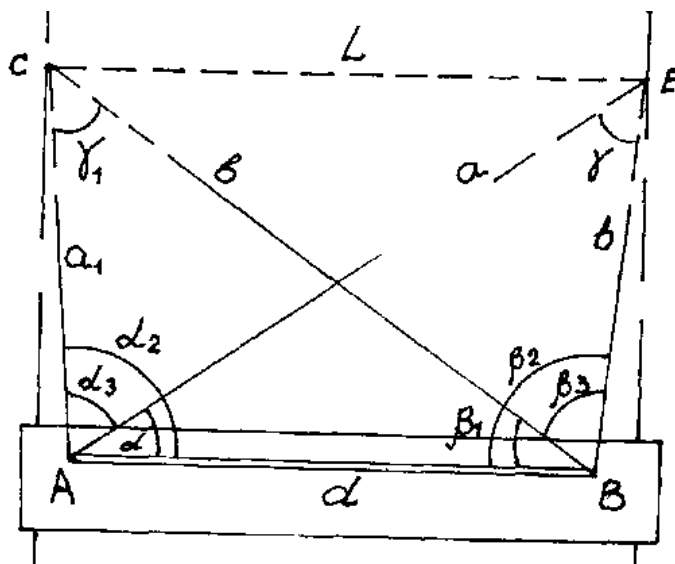


Рис.42. Определение ширины колеи с помощью лазерного теодолита.

На одном конце базиса в т. A устанавливают лазерный теодолит и откладывают угол α_2 , наводя луч лазера на боковую грань левого рельса. Обычным теодолитом, расположенным на другом конце базиса в точке B измеряют угол β_1 между линией базиса и направлением на лазерное пятно первого теодолита. Затем лазерный луч наводят на точку E правого рельса и измеряют углы α_1 и β_2 .

Ширину колеи L вычисляют как среднее величин, полученных по формуле

$$L = \sqrt{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos \gamma_1} + \Delta L,$$

$$L = \sqrt{b^2 + b_1^2 - 2bb_1 \cos \gamma_2} + \Delta L,$$

где ΔL – ширина головки рельса;

$$a = \frac{d \sin \beta_2}{\sin \gamma_2}; \quad a_1 = \frac{d}{\sin \gamma_1} \sin \beta_1;$$

$$b = \frac{d_1}{\sin \gamma_2} \sin \alpha_1; \quad b_1 = \frac{d}{\sin \gamma_1} \sin \alpha_2$$

Расположение базиса на мостовом кране позволяет производить измерения на всем протяжении подкрановых путей, перемещая кран.

Точность косвенного метода

Точность измерения ширины методом косвенного измерения характеризует точность положения пунктов опорной сети и определения положения точек рельсовых осей относительно этих пунктов.

Если в качестве опорной сети применяется микротриангуляция, то точность положения пунктов опорной сети обусловлена ошибками измерений базиса и внутренних углов в треугольниках. В этом случае относительная средняя квадратическая ошибка $\frac{m_{ci}}{c_i}$ определения длины стороны, с которой производится съемка рельсовых осей, определяется по формуле

$$\left(\frac{m_{ci}}{c_i}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho''} \sum_{k=1}^{k=i} (\text{ctg}^2 c_k + \text{ctg}^2 \beta_k + \text{ctg} c_k \text{ctg} \beta_k).$$

В частном случае, если принять $A_k=B_k=C_k=60^\circ \frac{1}{\sqrt{3}}$ и формула примет вид:

$$\left(\frac{m_{ci}}{c_i}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} i \left(\frac{m_\beta''}{\rho''}\right)^2 \quad (34)$$

Формула (34) дает возможность рассчитать приближенную относительную среднюю квадратическую ошибку наиболее удаленных от базиса сторон, с пункта которой будет осуществляться съемка точек рельсовых осей. Зная величину этой ошибки, можно использовать измерения таким образом, чтобы снижение точности измерения углов компенсировать повышенной точности измерения базиса и наоборот.

Средняя квадратическая ошибка M положения точки, определяемая прямыми угловыми засечками с пунктов опорной геодезической сети, выражается формулой:

$$M = \frac{m_\beta''}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{\sin \gamma}};$$

где m_β – средняя квадратическая ошибка измерения углов;

S_1 и S_2 – расстояния от пунктов сети до точки;

γ – угол засечки.

Так как $S_1 = b \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma}$, $S_2 = b \frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma}$, то

$$M = \frac{m_\beta b}{\rho''} \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma}}. \quad (35)$$

Так как ширина колеи определяется по координатам двух противоположных точек, то средняя квадратическая ошибка m_L , обусловленная ошибками положения указанных точек будет равна

$$m_L = M\sqrt{2},$$

откуда

$$M = \frac{m_L}{\sqrt{2}}. \quad (36)$$

На основании формулы (35) с учетом (36) можно предвычислить ошибку m_{β} измерения углов.

$$m_{\beta} = \frac{m_L \rho'' \sin \gamma}{\sqrt{2} b \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}}.$$

При $m_L=5$ мм, $b=20$ м, $\gamma=90^\circ$, $\beta_1=\beta_2=45^\circ$

$$m_{\beta} = \frac{5 \cdot 205265 \cdot 1}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{0,71^2 + 0,71^2}} \approx 35''.$$

При $m_L=5$ мм, $b=20$ м, $\gamma=120^\circ$, $\beta_1=\beta_2=30^\circ$

$$m_{\beta} = \frac{5 \cdot 205265 \cdot 0,7}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{0,5^2 + 0,5^2}} \approx 35''.$$

При $m_L=5$ мм, $b=20$ м, $\gamma=60^\circ$, $\beta_1=\beta_2=60^\circ$

$$m_{\beta} = \frac{5 \cdot 205265 \cdot 0,866}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{0,866^2 + 0,866^2}} \approx 26''.$$

3.3. Способы определения непрямолинейности рельсовых путей

Задача определения непрямолинейности рельсов подкрановых путей сводится к определению боковых (поперечных) смещений инженерных сооружений и конструкций.

Для определения боковых смещений рельсовых осей применяется ряд способов непосредственного и косвенного измерений.

Выбор любого из них обуславливается главным образом условиями измерений и конструктивными особенностями подкрановых путей.

По методу косвенного измерения, применяемому для определения ширины колеи, прямолинейности рельсов определяется по координатам

точек рельсовых угловых засечек. Сущность этого метода изложена выше в разделе «Определение ширины колеи».

Наибольшее применение находят способы створных измерений. Эти способы обеспечивают необходимую точность измерений. Боковые смещения рельсовых осей измеряют от прямых линий, проходящих через пункты вспомогательной опорной сети, расположенной вдоль обеих рельсовых нитей. Прямые линии можно расположить вблизи рельсов в любом месте, удобном для измерения. Эти линии особенно удобно располагать так, чтобы они проходили через осевые точки рельсов вначале и в конце пролета.

При створных наблюдениях в качестве отсчетного устройства для измерения отклонений от створа можно использовать отрезок нивелирной рейки РНЗ длиной 0,5 м с уровнем и удерживающей пластиной (рис. 43).

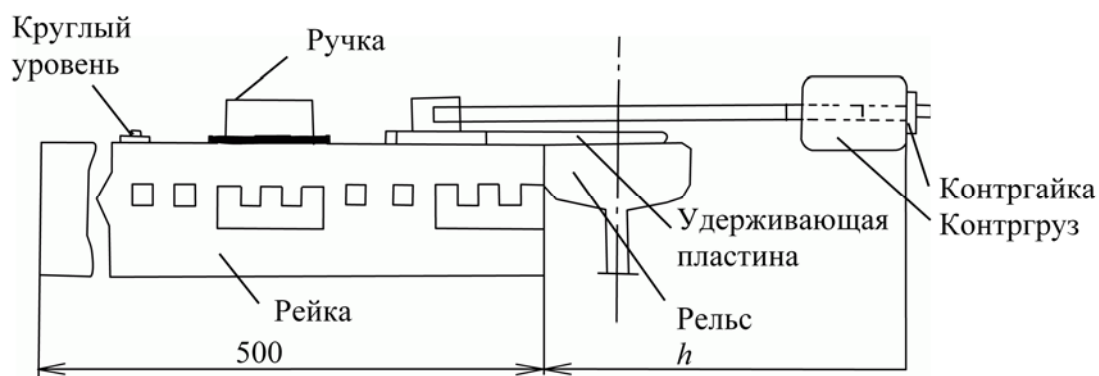


Рис. 43. Нивелирная рейка для измерения непрямолинейности оси рельса

Для удобства работы целесообразно к рейке закрепить контрольный груз. При длине плеча h , равной 0,3-0,4 м, масса требуемого контргруза не превышает одного килограмма.

При створных измерениях одновременно измеряют боковые смещения рельсов, а также балок от створа и по разности смещений в одновременной точке вычисляют эксцентриситет. Для этого используют вилкообразную рейку, (рис.44) представляющую собой обычную рейку 3, на которой при помощи хомута 4 укреплен подвижная Г-образная штанга 2. Размеры хомута в поперечном сечении незначительно превышает размеры рейки, поэтому он свободно перемещается по ней. На хомуте неподвижно укреплен другая рейка 1. Рейку устанавливают в горизонтальное положение с помощью цилиндрического уровня 5.

При створных промерах рейку укладывают поперек балки, совмещают пятку с осью рельса и горизонтируют по уровню. Затем перемещают хомут до упора штанги со стенкой балки и по рейкам снимают отсчеты, соответствующие расстояниям от оси рельса и балки (с поправкой на толщину балки) до оптического (лазерного) или струнного створа.

При длине створа более 100 м струна значительно провисает, что затрудняет измерение боковых смещений. При прогибе струны до 2 м

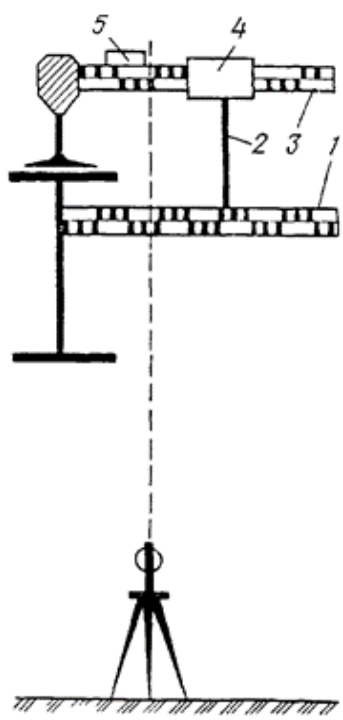


Рис.44. Вилкообразная рейка

рекомендуется использовать приборы для створных измерений ИКС-1 и зеркальный отвес (2), а более 2 м – приборы вертикального визирования (PSL, ПОВП и др.) Вместо прибора PSL успешно применяют нивелир Копи-007. Для этого убирают пентапризму, а в верхней крышке проделывают отверстие, которое закрывают оптическим стеклом.

На приваренных к колоннам на высоте до 6 м от пола подвешивают проволоку с грузом для натяжения. На полу цеха под определенными точками примерно в створе проволоки устанавливают прибор вертикального проектирования. На высоте проволоки к колонне прикладывают рейку, по которой снимают два отсчета: один по центру сетки нитей, а другой по проволоке. В связи с тем, что проволока качается, то делают два верхних отсчета, а по ним вычисляют средний, соответствующий положению проволоки в покое. Разность отсчетов по центру сетки а по проволоке соответствует отстоянию прибора от створа. Затем рейку прикладывают пяткой к оси рельса и отсчитывают по центру сетки нитей. Вычисляют разность между полученным отсчетом и отстоянием прибора от створа, которая соответствует боковому смещению рельса от створа. Аналогично определяют и смещение балки от створа с помощью вилкообразной рейки.

Для перемещения рейки по рельсам используют мостовые краны, а при изменении отстояния прибора применяют лестницы-стремянки или шесты. Геодезические приборы (а также визирную марку) на уровне подкрановых путей можно крепить различными способами, обеспечивающими жесткость и устойчивость их установки. В качестве примера на рис. 45 и 46 показаны возможные способы крепления приборов с помощью кронштейнов.

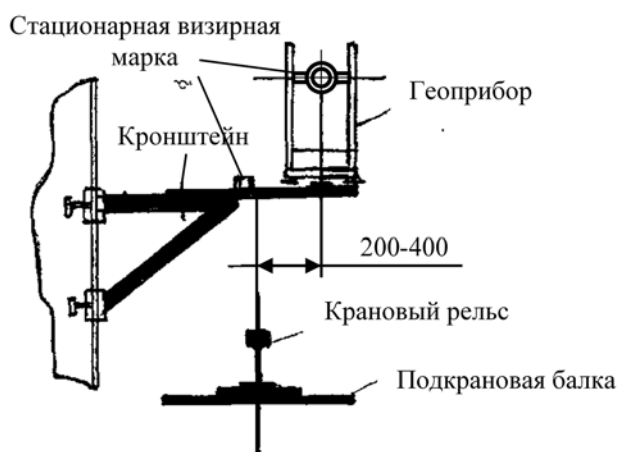


Рис.45. Крепление прибора и визирной марки к колонне

При большой длине цеха рельсовая нить может быть разделена на ряд отрезков, не лежащих на одной прямой линии. В таком случае измеряют углы поворота этих отрезков.

В качестве прямой линии, относительно которой измеряют отклонения рельсовых осей, используются либо струна, натянутая между двумя точками прямой линии, либо оптический луч, проходящий через эти точки.

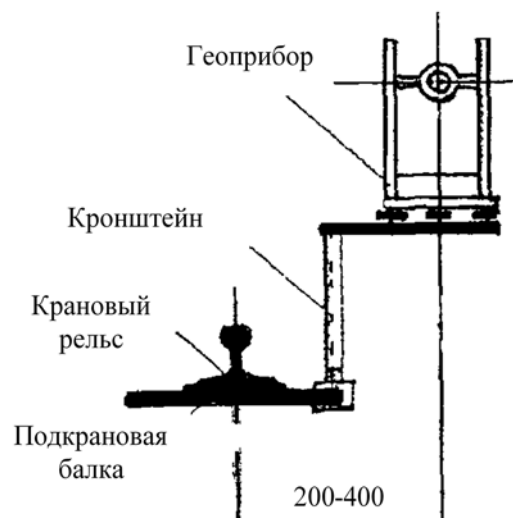


Рис.46. Крепление прибора к балке

3.3.1. Способ «струны»

На верхней грани рельса в характерных точках определяют положения оси симметрии боковых ее граней. Точки отмечают на рельсе насечкой или краской. Затем вблизи рельса на уровне верхней его грани вдоль рельса натягивают струну из тонкой стальной проволоки или капроновой нити. Расстояние между струной и точками рельсовой оси измеряют линейкой с мм делениями шкалы.

Если струну располагают несколько выше рельса, то для проектирования ее на уровень верхней грани рельса применяют, как уже упоминалось специальные, разработанные для этой цели приборы вертикального визирования, измеритель кривизны ИКС–1 В.А. Спинова и зеркальный отвес И.М. Репалова.

Измеритель кривизны ИКС – позволяет с высокой точностью измерить расстояние между струной и рельсом. В этом приборе створ струны проецируется на плоскость верхней грани рельса при помощи горизонтального зеркала, лежащего в этой плоскости.

Положение изображений струны в зеркале соответствующе вертикальной ее проекции, определяется визуально по створу струны с ее изображением в зеркале.

Измерения при помощи ИКС-1 производят следующим образом. На концах определяемого интервала нити на рельсе устанавливают два зеркальных отвеса. Над ним при помощи регулировочно-натяжных устройств подвешивают струну с натяжением 20-25кг. Миллиметровыми винтами этих устройств струна в створе с ее изображением в зеркале вводится на середину биссекторов зеркальных отвесов. При этом зеркала должны занимать такое положение, чтобы отсчет по шкале индикаторов

был близким к 5,00 и биссекторы располагались посередине зеркал. Затем наводящими винтами зеркальных отвесов вводят биссекторы в створ струны (3-4 раза) и производят точный отсчет по шкале индикаторов, которые жестко связаны с биссекторами. Среднее из отсчетов по индикатору будет местом нуля MO для каждого зеркального отвеса. Таким же образом определяют место нуля и третьего зеркального отвеса. После этого в определяемых точках устанавливают третий зеркальный отвес. Наводящим винтом биссектор этого отвеса вводят в створную плоскость и по индикатору берут отсчет b .

Отклонение q_i точки i рельсовой оси от створа получается из выражения

$$q_i = MO - b_i.$$

Отклонение любой точки рельсовой оси от прямолинейности на определенном участке L рельса выражается формулой:

$$q_i = q_0 + q_l + \frac{(q_L - q_0)l}{L},$$

где q_0 и q_L – отклонение от створа точек и в конце интервала;

l – расстояние от начала створа до определяемой точки.

Недостаток прибора ИКС-1 в том, что положение створа струны определяется визуально по совмещению струны с зеркальным отражением ее. Это ограничивает высоту подвеса струны. На надземных путях струна создает препятствия при перемещении персонала по рельсам во время измерения, поэтому ее приходится подвешивать на значительной высоте.

Отличительная особенность зеркального отвеса И.М. Репалова в том, что положение вертикальной проекции струны на плоскость головки рельса определяется по совмещению отражений струны в двух горизонтальных параллельных зеркалах, расположенных на разных уровнях. При помощи этого отвеса измерения производят следующим образом.

Вдоль рельса на высоте 1,2–1,5 м от его головки подвешивают натянутую струну 5. В определяемых точках на головке рельса устанавливают зеркальный отвес (рис.47), параллельно скрепленные в рамке 1 зеркала 2 которого при помощи цилиндрического уровня 3 приводят в горизонтальное положение. Отвес устанавливают так, чтобы нулевой штрих его шкалы 4 совпадал с отвесной плоскостью оси рельса, и закрепляют струбциной. Затем струну подсвечивают сверху электролампой от карманного фонаря, а ее отражения в обоих зеркалах визуально совмещают в одну линию. В момент совмещения по миллиметровой шкале, расположенной в плоскости одного из зеркал, отсчитывают величину бокового отклонения рельсовой оси в определяемой точке от струны. Точность отсчета по шкале, составляющая $\pm 0,5$ мм, вполне достаточна для объективной характеристики непрямолинейности рельсов в соответствии с допусками.

Способ струны отличается простотой, обеспечивает необходимую точность измерений и не требует высокой квалификации исполнителей. Однако использовать струну в качестве створной линии не всегда возможно. Вибрация несущих конструкций цеха, обусловленная работающими механизмами, вызывает колебания струны. Против этих колебаний малоэффективны даже демпфирующие устройства, которое в свою очередь также подвержены влиянию вибрации. Кроме того, натянутая вдоль рельса струна может препятствовать перемещению персонала по рельсам во время измерений.

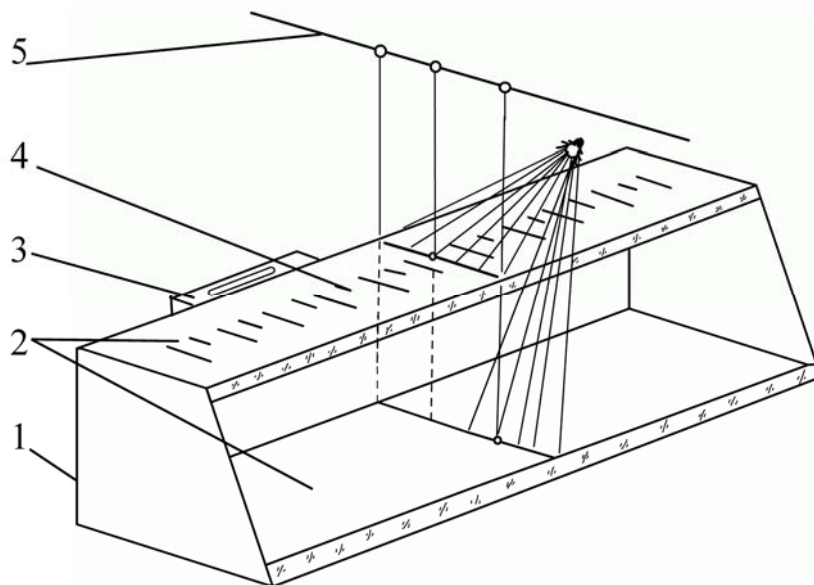


Рис. 47. Зеркальный отвес И.М. Репалова

Точность способа «струны» обусловлена в основном ошибками фиксации точек рельсовых осей и измерения расстояний от оси рельса до струны. Если струну натягивают между опорными точками, то влияют ошибки подвески струны в этих точках. Кроме того, при перенесении точек с пола на уровень подкрановых путей на точность построения створа влияют ошибки проектирования. Применение для этих целей приборов вертикального визирования, как отмечалось, обеспечивает высокую точность проектирования.

Если способ «струны» используется только для определения непрямолинейности рельсов, то точность построения створа не имеет значения, так как створные точки выбирают в произвольном месте. Таким образом, исходя из допуска на отклонение рельсов от прямой линии, способ «струны» обеспечивает необходимую точность, вполне достаточную для объективной характеристики непрямолинейности рельсов.

Главный фактор, влияющий на точность способа «струны», – колебание струны, амплитуда и частота которого зависят от ее длины. Для исключения этого фактора способ «струны» следует применять в местах, свободных от вибрации, при отсутствии сильного ветра или ограничивать длину струны до 20-30 м.

3.3.2. Оптический способ

При оптическом способе створ задается визирной осью зрительной трубы теодолита. Преимущества этого способа в том, что теодолит устанавливают в любом месте, удобном для наблюдателя, как на уровне путей, так и непосредственно на полу цеха. Отсчет по наблюдательной рейке, установленных в определенных точках, производят дистанционно. Если теодолит устанавливают на полу, для перемещения рейки используют кран. Измерительную рейку в горизонтальном положении крепят на раме крана пружиной и пятка, соединенная с контактирующим роликом, постоянно прижимается к одной из боковых граней рельса.

Непрямолинейность рельса характеризуется неравномерными боковыми (поперечными) смещениями оси рельса, которая является осью симметрии боковых его граней. В результате воздействия ходовых колес крана на рельсы они деформируются и изнашиваются. При этом обе грани в одном поперечном сечении рельса часто имеют разный характер и величину износа. Поэтому пятка (нулевой штрих) рейки в таких случаях должна устанавливаться только на оси рельса. При измерениях на надземных подкрановых путях такие вспомогательные операции, как определение положения и фиксация точек рельсовых осей, установка в них рейки и перемещение от точки к точке – наиболее трудоемкие операции и занимают основную часть времени, так как их выполняют в трудных условиях с повышенной опасностью. Для этих целей можно использовать каретку КР-1 И.М. Репалова (рис.48). Каретка КР-1 позволяет полностью исключить указанные операции, так как нулевой штрих измерительной рейки устанавливается на оси рельса автоматически независимо от характера и степени износа его граней. Барабаном, устанавливаемым у теодолита и соединенным с кареткой двумя тросиками, каретку перемещают на рельсу в прямом и обратном направлениях.

Измерения при помощи каретки КР-1 выполняются следующим образом.

Перед началом работ в одном конце пути на рельсе или вблизи него устанавливают визирную марку. Возле нее на рельсе укрепляют блок, через который проходит один из тросиков. Здесь же устанавливают на рельсе каретку. Затем с крана, передвигающего на небольшой скорости, барабаном разматывают и укладывают с небольшим натяжением вдоль рельса оба тросика. Переместившись на другой конец пути, кран останавливается. В этом конце устанавливают теодолит на кране либо на рельсе на такой высоте, чтобы изменение угла наклона трубы при визировании на различные точки было незначительным. Установив теодолит на штативе, коллимационную плоскость его трубы ориентируют по направлению визирной марки. При этом створная плоскость должна проходить вблизи рельсовой оси. После этого трубу наводят на рейку, по которой берут отсчет. При помощи барабана помощник перемещает каретку по рельсу с

такой скоростью, чтобы наблюдатель держал рейку постоянно в поле зрения трубы и успевал при этом фокусировать трубу и брать в нужный момент отсчеты. Местоположение каретки в момент взятия отсчета определяется по градуировке тросика. После измерения по всему рельсу каретку перемещают в обратном направлении и измерения повторяют при другом положении трубы. Эти измерения составляют один прием. После этого теодолит и визирную марку меняют местами и выполняют второй прием в таком же порядке, как и первый.

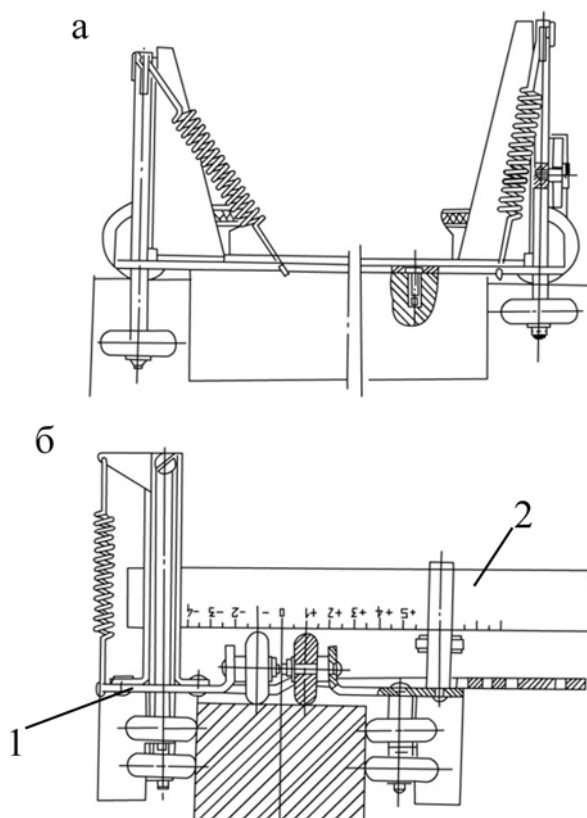


Рис.48. Каретка КР-1 И.М. Репалова:
а – вид сбоку; б – вид спереди

По результатам измерений в каждой точке определяют среднее арифметическое значение из всех отсчетов по рейке из двух приемов, которое определяют величину отклонения оси рельса от створа. На втором рельсе измерения производят аналогично.

Каретка КР-1 позволяет производить измерения непрерывно по всему рельсу. При этом возможна полная автоматизация измерений. С этой целью вместо теодолита используют лазер, а на каретке вместо рейки – светочувствительный датчик линейных перемещений. В настоящее время лазеры находят широкое применение в инженерной геодезии и, в частности для проверки прямолинейности рельсов.

Точность оптического створа характеризуется точностью фиксации оси рельса, определения положения створа и измерения уклонов определяемых точек от створа.

3.3.3. Способ подвижной хорды

Непрямолинейность рельсов подкрановых путей как наземных, так и надземных может быть определена непосредственно измерением стрел бокового (поперечного) горизонтального прогиба рельсов на участках небольшой длины. Этот способ назван *способом подвижной хорды*.

На рельсе через равные интервалы L намечают точки 1, 2, ..., n . Затем в точке 2 измеряют расстояние l от рельса до прямой AB , проходящей через точку 1 и ориентированной приближенно по направлению рельсовой нити (рис.49,б).

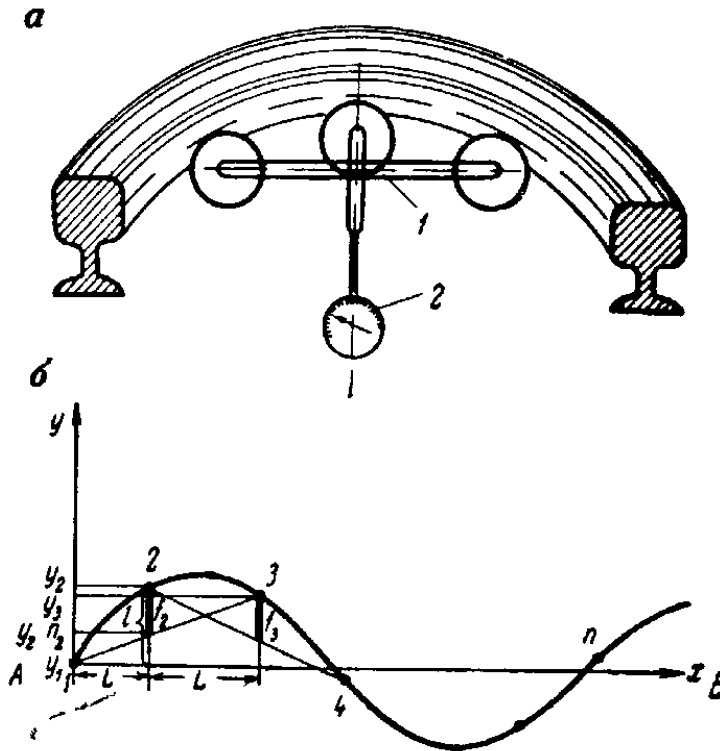


Рис.49. Способ подвижной хорды:
а – кинематическая схема прибора для измерения стрел прогиба;
б – геометрическая сущность способа

Затем в точках 2, 3, ..., n последовательным перемещением хорды, стягивающей кривую рельса в точках, соседних с определяемой, измеряют стрелы f_2, f_3, \dots, f_n прогиба рельса в интервале $2L$ на участках 1-3, 2-4, 3-5, ...

На рис. 49,а изображено принципиальное устройство прибора для измерения прогиба рельсов.

В качестве хорды можно использовать деревянную рейку 1, металлическую балочку из облегченного металла, а также натянутую струну. Стрела прогиба может быть измерена индикатором часового типа 2 и другими приборами, применяемыми для измерения линейных перемещений. При этом хорда должна иметь достаточную жесткость, исключаящую горизонтальный поперечный ее прогиб при измерениях.

По результатам измерений вычисляют координаты точек в условной системе. За начало координат принимают точку 1, а прямую AB – за ось абсцисс.

Координаты точки 2 будут иметь значения

$$x_2 = L, y_2 = l.$$

Координаты последующих точек будут иметь значения

$$x_3 = 2L, y_3 = 2(y_2 - f_2) - y_1$$

$$x_4 = 3L, y_4 = 2(y_3 - f_3) - y_2$$

.....

$$x_n = (n-1)L, y_n = 2(y_{(n-1)} - f_{(n-1)}) - y_{n-2}$$

Полученные ординаты точек характеризуют отклонения рельса от прямой линии AB , которая представляет собой линию створа. В данных формулах выражение в скобках представляет собой разность ординаты текущей точки и стрелы прогиба в ней. Для строгого решения вместо f_i нужно было бы взять выражение $f_i \cos \alpha_i$, где α_i – угол поворота хорды относительно прямой AB . В практических случаях кривизна рельса незначительна и, следовательно, угол α имеет величину, близкую к нулю, поэтому можно принять $\cos \alpha = 1$.

Точность способа подвижной хорды обусловлена ошибками измерения стрел прогиба и ошибками от неточного совмещения концов хорд при их перемещении с точками, в которых измерялась стела прогиба. Последние являются результатом неравномерного износа боковых граней. Ранее отмечалось, что величина износа граней в интервале 10 см колеблется в пределах 0,2 мм. Эту величину можно принять за среднюю квадратическую ошибку от несовмещения концов хорд с определяемыми точками. Стрела прогиба может быть измерена с точностью 0,01 мм, если для этой цели использовать, например, индикаторы часового типа. Таким образом, приращения координат соседних точек будут определены с достаточно высокой точностью. Однако, согласно выше написанным формулам, координаты последующих точек находятся в зависимости от координат всех предыдущих точек. Поэтому накапливаются ошибки измерения. Техническими условиями регламентируется отклонение оси рельса от прямолинейности лишь на участке пути в 40 м. В связи с этим накопление ошибок имеет значение только для точек в интервале 40 м. В этих пределах способ подвижной хорды может обеспечить необходимую точность. Нужно только, чтобы длина хорды $2L$ была не менее 4-5 м.

3.3.4. Проверка непрямолинейности рельсов способом двух параллельных створов

Для фиксации створов измеряется ширина колеи L_0 и L_n , т.е. в начале и в конце проверяемого участка пути (рис. 50).

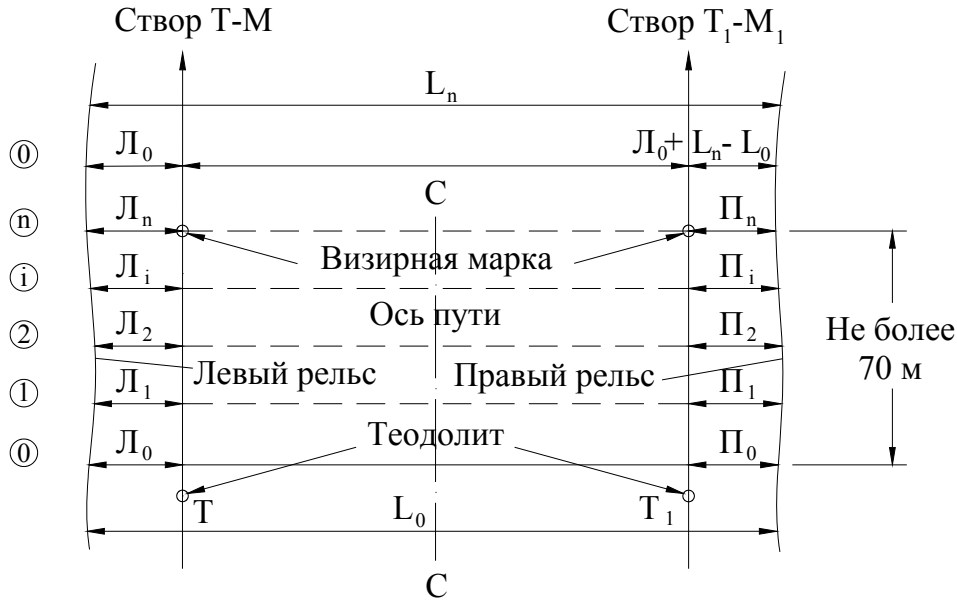


Рис. 50. Проверка непрямолинейности осей крановых рельсов способом двух параллельных створов

При определении непрямолинейности оси левого рельса теодолит и визирную марку устанавливают на одинаковом расстоянии L_0 от боковой грани рельса, в точках закрепляя их на местности.

Для удобства работы расстояние от L_0 следует применять в пределах 200-400мм, а расстояние от теодолита до марки не должно превышать 70 м.

Теодолит и марку центрируют с точностью до 1мм. Для производства измерений, зрительную трубу теодолита (т.Т) наводят на марку на точку М а левом створе. Далее, устанавливают рейку (рис.50) пяткой к боковой грани головки рельса, через равные интервалы (но не более чем через 5 м) по вертикальной нити сетки трубы снимают отсчеты L_1, L_2, \dots, L_n .

Непрямолинейность оси левого рельса относительно левого створа вычисляют как разность между измеренным отсчетом L_i и расстоянием L_0 вычисляют по формуле

$$НЛ_i = L_i - L_0,$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – номера точек измерений

При определении непрямолинейности правого рельса выносят правый створ T_1-M_1 , параллельны левому створу. Для этого теодолит следует установить в точке T_1 на расстоянии L_0 от боковой грани правого рельса, а марку – в точке T на расстоянии $L_n - L_0 - L_0$.

Расстояние между створами окажется равным $C=L_0-2Л_0$. Непрямолинейность $НП_i$ оси правого рельса относительно створа T_1-M_1 вычисляется по формуле

$$НП_i = П_i - Л_0.$$

3.3.5. Определение непрямолинейности рельсов способом одного створа

Непрямолинейность левого рельса (Δa_i) устанавливают, как описано выше.

Непрямолинейность оси правого рельса определяется после измерения ширины колеи в местах определения отклонений левого рельса от створа.

Отклонения правого рельса от прямолинейности $НП_i$ вычисляют, используя измеренные величины $НЛ_i$ и L_i по формуле

$$НП_i = L_i - L_0 + НЛ_i,$$

где L_i – измерена ширина колеи;

L_0 – проектная ширина колеи;

НЛ – отклонения от прямолинейности левого рельса.

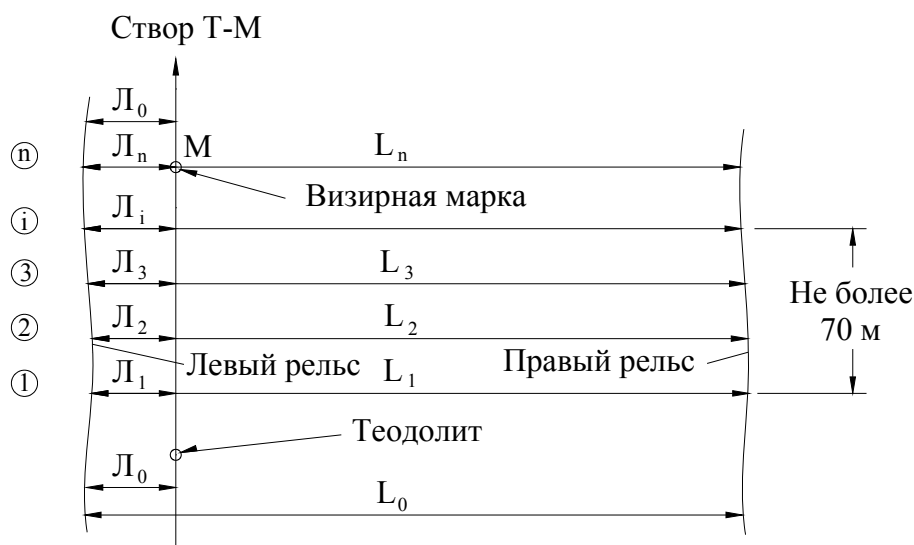


Рис. 51. Определение непрямолинейности рельсов по одному створу

3.3.6. Проверка прямолинейности рельсов способом произвольного створа

В производственных условиях часто не бывает возможности строить параллельные створы.

В таком случае можно использовать способ произвольного створа.

Для определения непрямолинейности оси левого рельса теодолит располагают на полу цеха на расстоянии 30-50 см от рельса (рис.52).

На другом конце рельса (≈ 60 м) закрепляют визирную марку М на расстоянии 500-800 мм от левого рельса.

Последовательно прикладывая пятку рейки к боковой грани рельса, против колонн берут отсчеты (по рейке) L_0, L_1, \dots, L_n .

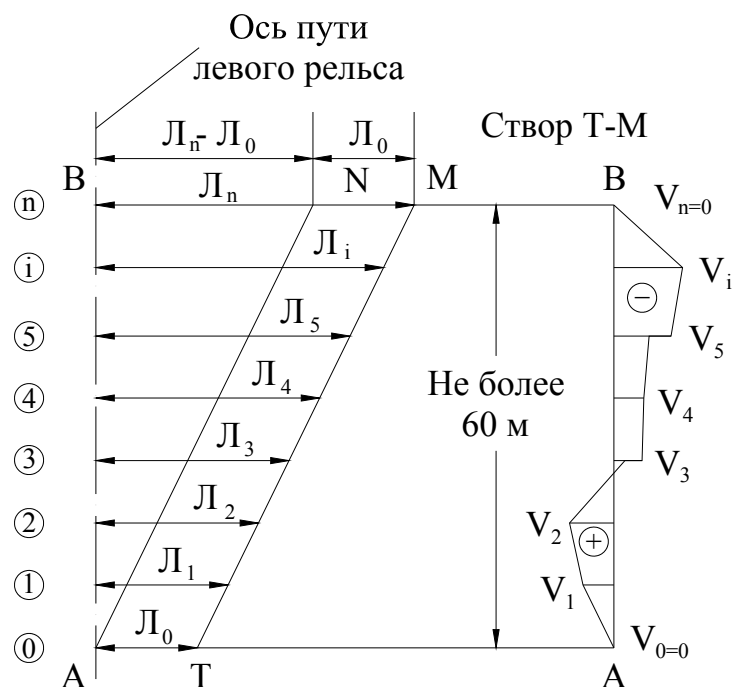


Рис.52. Определение непрямолинейности оси рельса способом произвольного створа $T-M$:

AB – прямая, проходящая через концы рельса на участке длиной 50-60 м; T – теодолит; M – визирная марка, AN – расчетная прямая, параллельная створу $T-M$; V_i – отклонение оси левого рельса от прямой AB

Вычисляют отклонение V_i оси рельса от прямой AA' во всех измеряемых точках по формуле

$$V_i = L_i - [L_0 + I(L_n - L_0)/n].$$

Строят схему отклонений оси рельса от прямой линии AA' . Существует правило: в сторону измерения колеи ординаты откладывают со знаком «плюс» (+); в сторону сужения колеи (пролета) – со знаком «минус» (-).

Непрямолинейность правого рельса определяют аналогично описанному выше.

3.3.7. Контроль прямолинейности и параллельности осей створов способом двух непараллельных створов

Начальные и конечные точки T_1-M_1 и T_0-M_2 выбирают и фиксируют произвольно на концах обследуемого участка подкрановых путей (рис.53).

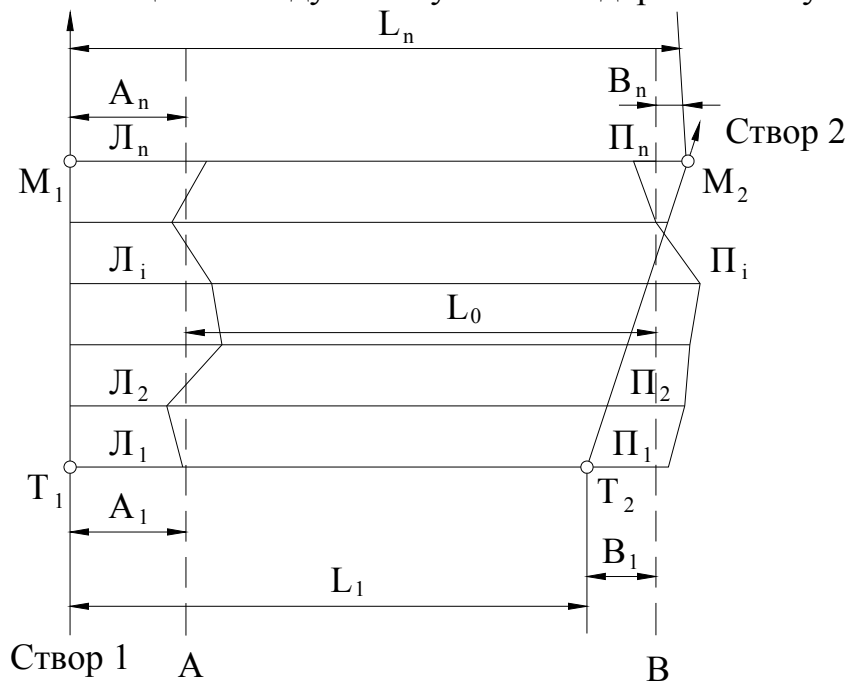


Рис. 53. Контроль прямолинейности и параллельности осей способом двух непараллельных створов

При помощи теодолита, лазерного визира или ориентированных по линии створов, тем же способом бокового нивелирования измеряют L_i и Π_i осей рельсов от своих створов, где i – номер текущей точки пути или створа, n – число точек одного створа.

Измеренным отклонением присваивают знаки «+» (в сторону измерения колеи, или минус в сторону сужения колеи). По замеренным отклонениям строятся графики фактического расположения осей крановых рельсов, представленных в виде ломаных линий.

Для получения оптимальных величин смещений рельсов при их последующей рихтовке нивелирования путей используют метод наименьших квадратов.

3.4. Проверка взаимных смещений осей рельсов и подкрановых балок

3.4.1. Способы измерения взаимного смещения осей

Смещения оси рельса относительно оси подкрановой балки необходимо определять для выявления возникающих отклонений от нормативных требований и для составления проекта рихтовки крановых путей.

Измерение названных смещений производят, как правило, на опорах (против колонн) и в середине пролета каждой подкрановой балки.

Проверку смещения оси рельса относительно оси балки можно произвести тремя следующими способами:

- путем непосредственного измерения смещений стальной линейкой с миллиметровыми делениями (рис.54);
- методом бокового нивелирования с использованием теодолита и короткой рейки;
- с использованием Г-образной рейки с уровнем и фиксатором для перпендикулярной ее установки к оси балки (рис. 55).

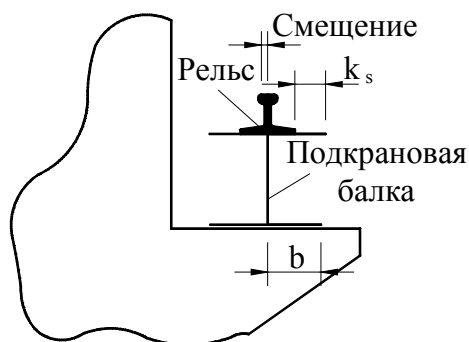


Рис. 54. Проверка смещения оси рельса относительно оси подкрановой балки

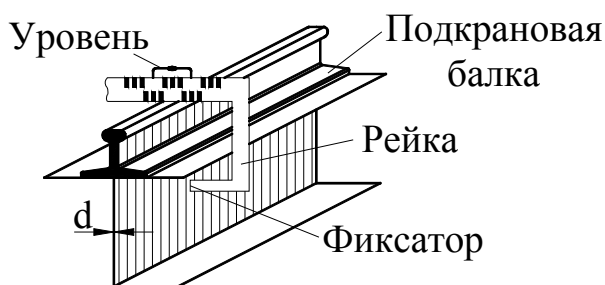


Рис. 55. Г-образная рейка в рабочем положении для измерения взаимного смещения осей рельса и балки

3.4.2. Проверка взаимных смещений линейкой с миллиметровыми делениями

Стальной линейкой с миллиметровыми делениями или штангенциркулем измеряется (по верху полки подкрановой балки) расстояние s между одноименными краями балки и рельса (см. рис.54).

Смещение V (оси рельса относительно оси балки) вычисляется по формуле

$$V = b - (s + K),$$

где b – проектный размер от оси балки до края полки;

s – фактический отсчет по линейке;

K – проектный размер от оси рельса до края подошвы.

Взаимное смещение торцов рельсов в стыках и по высоте измеряется линейкой с миллиметровыми делениями.

3.4.3. Проверка смещений рельса методом бокового нивелирования

Для геодезической съемки смещений оси рельсов относительно оси подкрановых балок используются теодолит и рейка длиной 0,4- 0,6м.

При боковом нивелировании для установки рейки можно применять мачту-корзину или кабину крана.

При измерениях необходимо выдержать горизонтальность рейки и перпендикулярность ее к боковой грани балки или рельса.

В тех случаях, когда разбивка обоснования в цехе затруднительна, необходимо установить специальные площадки или переносить элементы разбивки непосредственно на крановые пути.

3.4.4. Проверка горизонтальных смещений с помощью Г-образной рейки

Теодолит помещается в одном из концов пролета и ориентируется на марку, укрепленную в противоположном конце по оси рельса.

Г-образная рейка устанавливается на головку рельса так (см. рис.55), чтобы ее фиксатор (пятка) упирался в боковую грань балки. Затем верхнюю часть рейки перемещают перпендикулярно оси рельса (прижимая пятку к стенке балки) до тех пор, пока пузырек уровня не окажется в нуль-пункте.

В этот момент берут отсчет по шкале с помощью ориентированной трубы теодолита. Полученное значение является величиной отклонения боковой грани стенки балки от прямой лежащей в коллимационной плоскости теодолита.

Для определения величины смещения оси балки в отсчет необходимо ввести величину $d/2$, равную половине толщины вертикальной стенки стальной балки.

Надежность полученного отсчета обусловлена тем, что при расположении пузырька уровня в нуль-пункте нуль шкалы и выступ фиксатора находятся на одной отвесной прямой.

Отклонение нуля шкалы рейки от коллимационной плоскости будет показывать и отклонение грани балки на ту же величину.

Наличие в нижней части рейки фиксатора с перпендикулярном выступом позволяет устанавливать ее под прямым углом к оси балки. Это исключает из отсчета ошибку, связанную с отклонением от перпендикулярности коллимационной плоскости.

Описываемый способ безопасен, не требует особых затрат времени на подготовку планового обоснования; обеспечивая необходимую точность, позволяет с одной стоянки теодолита определять смещение осей балки и рельса по всей длине створа.

3.5. Высотная съемка рельсового подкранового пути

Высотную съемку подкрановых конструкций выполняют методами геометрического или тригонометрического нивелирования. В любом случае для съемки подкрановых конструкций требуется высокая точность измерений, поэтому съемку осуществляют в основном методом геометрического нивелирования по программе III–VI классов. В зависимости от конкретных условий нивелир размещают на подкрановом пути, на мостовом кране или на полу цеха.

3.5.1. Геометрическое нивелирование

Этот метод является наиболее распространенным при высотной съемке надземных путей и основным при съемке наземных.

Нивелирование (как наземных, так и надземных путей) осуществляют обычно с нескольких станций, образующих замкнутый нивелирный ход, который привязывается к точке, не связанной с подкрановыми путями. Положение этой точки на время измерений должно быть неизменным.

Если колья наземных путей превышает 6 м и между рельсами обеспечена взаимная видимость, то нивелир устанавливают посередине между рельсами и обе рельсовых пути нивелируют одновременно. Наземные пути нивелируют с точностью технического нивелирования. Для этой цели применяют технические нивелиры НЗ. Рейку устанавливают на стыках и на середине рельсового звена.

Нивелирование надземных путей производят в трудных условиях, отличных от обычных условий нивелирования на поверхности земли. Плохая освещенность в цехе, наличие дыма и газов затрудняют видимость, снижают четкость изображения.

Вибрация механизмов и оборудования, конвекционные потоки воздуха, названные работой отопительных и вентиляционных установок, влияют на точность измерения. Особую трудность представляет недоступность путей для свободного перемещения по ним персонала. Кроме того, расположение путей на высоте, наличие вблизи рельсов токопроводов создает повышенную опасность работы. Краны со средним и тяжелым режимом работы не могут быть установлены в рабочее время, так как они связаны с технологическим процессом цеха. Поэтому геометрическое нивелирование надземных путей должно выполняться с учетом характера и степени каждого из этих факторов.

Если в цехе (пролете) имеется возможность для установки нивелира на полу или на некотором возвышении и при этом обеспечивается видимость между нивелиром и рейкой, то нивелирование целесообразно производить с пола. Для перемещения рейки используют кран. Кран подвешивают

непосредственно к крану. С этой целью на мосту крана над рельсом прикрепляют деревянный брусок 3 (рис.56), один конец которого неподвижно установлен над рельсом, а к другому подвешивают нивелирную рейку 1. На бруске устанавливают уровень 4, по которому он приводится в горизонтальное положение подъемным винтом. Длину бруска устанавливают из расчета, чтобы рейка не задевала за выступающие части здания или оборудование. Рейку подвешивают при помощи проволоки (тросика) 2, для натяжения которой к рейке прикрепляют груз. Если с одной станции нивелируют одновременно обе рельсовые нитки, то к крану подвешивают две рейки. При помощи рулетки измеряют расстояние от пятки рейки до верхней грани горизонтально установленного бруска. Высоту l этой грани под головкой рельса измеряют непосредственно линейкой или нивелиром. По этим данным определяют «разность пяток» нивелирных реек, по которой контролируют в процессе нивелирования точность отсчета. В процессе нивелирования кран передвигают к определенным точкам и останавливают. Брусок приводят в горизонтальное положение и по рейке берут отсчет. Для нивелирования используют обычные двусторонние деревянные нивелирные рейки. Вместо рейки можно использовать рулетку с подвешенными на конце грузом.

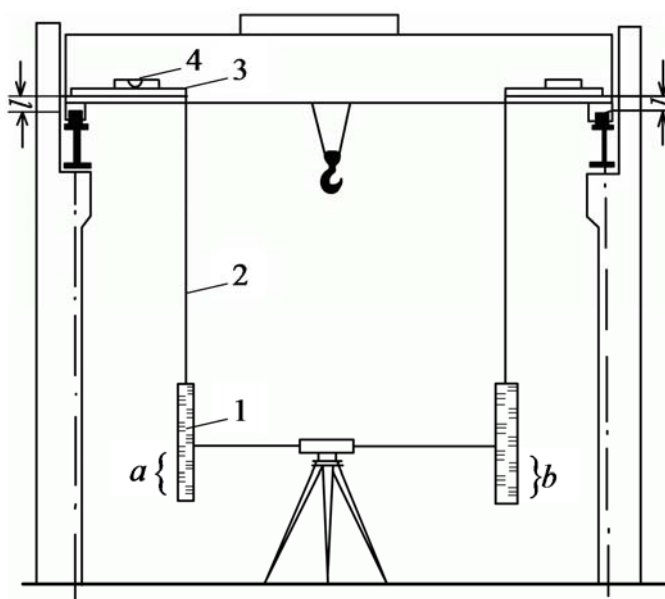


Рис.56. Нивелирование при помощи мостового крана

В условиях плохой видимости и при значительной длине плеч на рейке или рулетке укрепляют подвижную марочку с горизонтальной чертой. При наведении трубы на рейку (рулетку) марочка передвигается по ней до совпадения черты с горизонтальной нитью сетки трубы и по шкале берут отсчет до черты.

Нивелирование выполняют по программе IV класса нивелирами с контактными уровнями, а также нивелирами с самоустанавливающейся

линией визирования. Рельсы нивелируют в точках на каждой колонне и на середине подкрановой балки.

При нивелировании с пола значительно улучшаются условия труда, снижается влияние которых источников ошибок. При этом нивелирование может производиться во время работы крана. Главное достоинство этого способа состоит в том, что он позволяет определить действительное высотное положение рельсов непосредственно под нагрузкой крана.

В производственных целях видимость между нивелиром, установленном на полу и рейкой обеспечивается не всегда. В таких случаях нивелир устанавливают на уровне рельсов на специальных кронштейнах, прикрепляемых к колоннам. Если позволяет ширина верхней полки подкрановой балки, то нивелир может быть установлен на ней на обычном штативе. Целесообразно использовать для этой цели также специальный штатив конструкции И.К. Яценко (см. рис.31). При отсутствии проходных галерей для наблюдателя устраивают люльку, монтируемую с крана.

Нивелирную рейку устанавливают в определенных точках непосредственно на голову рельса. Для этого к ее пятке прикрепляют металлическую полусферу. Если визирный луч проходит над рельсом на высоте более 1 м, то рейка должна быть снабжена круглым уровнем.

На недоступных путях для нивелирования используют описанная выше каретка КР-1, на которой устанавливают специальную вертикальную реечку. Кроме того, рекомендуется использовать специальное устройство держатель рейки (рис.57), которое устанавливают непосредственно на кране. Держатель рейки представляет собой металлическую пластинку 2 с приваренными к ней двумя П-образными скобами 3, размер которых соответствует размеру поперечного сечения нивелирной рейки с небольшими зазорами для свободного перемещения в них реек. В пятках реек вмонтированы ролики 1 (шарикоподшипники) диаметром 25-30мм. Перед

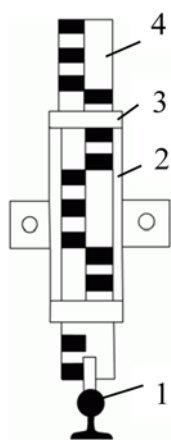


Рис. 57. Устройство для нивелирования недоступных рельсов

началом работы держатели закрепляются на торцевых балках крана (на мусоросборщиках) над рельсами и в них вставляются рейки 4. Под действием своего веса рейки опускаются на рельсы и с помощью роликов свободно перемещаются по ним при движении крана. Исполнители в соответствующих точках снимают отсчеты по рейкам, затем, переставив рейки другой шкалой, кран передвигают в обратном направлении и нивелирование повторяют.

В случаях нивелирования подвесных путей также целесообразно использовать держатель рейки, которая прижимается к рельсу с помощью пружины. Установив нивелир на уровне рельсов, отметку от репера на рельс передают известным

способом передачи отметок с помощью двух нивелиров, находящихся на разных уровнях, и рулетки.

При нивелировании этим способом выдержать условие равенства плеч очень трудно. Поэтому нивелируют по схеме, показанной на рис.58.

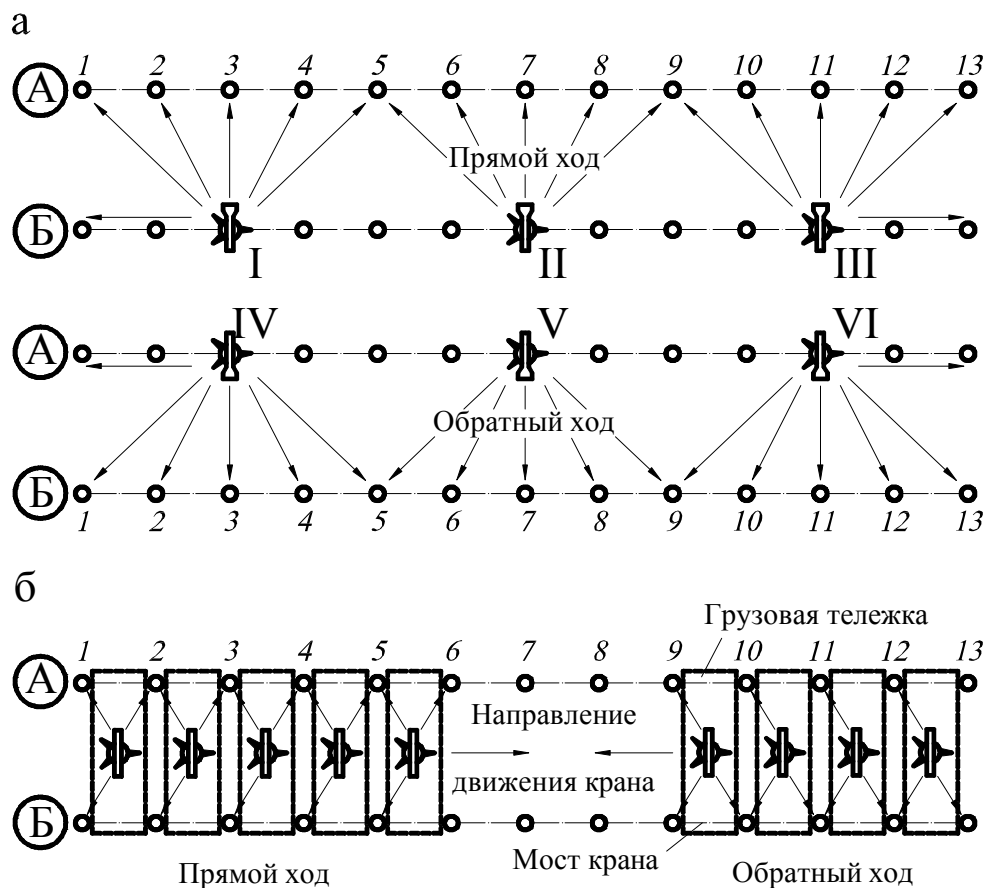


Рис.58. Схема геометрического нивелирования надземных подкрановых путей:
 а – с установкой нивелира над рельсом;
 б – с установкой нивелира на мостовом кране

Перед началом работы выбирают места для установки нивелира. При этом максимальная длина плеч должна быть в пределах 35-50м в зависимости от пролета здания и условий видимости; разность плеч на связующих точках должна быть в пределах допустимой для данного класса нивелирования. Нивелирование точек осуществляется со станций, расположенных на противоположной рельсовой нити, по замкнутому ходу. Замыкание хода производится на точке, расположенной на одной из колонн и не связанной с подкрановыми конструкциями. Эту точку принимают за исходную. При переходе с одной нити на другую нивелирование точек в поперечнике пути производят дважды со станции, расположенных на противоположных рельсовых нитях.

Невязка f_h в замкнутом ходе не должна превышать

$$f_h \leq \Delta h \sqrt{N},$$

где Δh – предельная ошибка определения превышения между связующими точками;

N – число станций.

Отметки точек вычисляют от исходной точки в условной системе сначала связующих точек, затем после увязки хода – промежуточных. За условную отметку исходной точки принимают произвольное число. Кратное 1 м. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента.

После замыкания нивелирного хода производят контрольное нивелирование противоположных в пролете нескольких связующих точек. Для установки нивелира можно использовать кран. Нивелир устанавливают на главной балке посередине моста, а наблюдатель помещается на его галерее.

Разность Δk превышений между связующими точками, полученными при контрольном нивелировании, должна быть в пределах

$$\Delta k = \Delta h \sqrt{n},$$

где n – число станций между этими точками, отсчитываемых по ходу нивелирования.

Нивелирование подкрановых путей целесообразно выполнять в два этапа. По результатам первого этапа производят оценку состояния путей по степени соответствия уклонов рельсов допускам. В точках, превышения между которыми близки к допустимым или превышают их, производят повторно нивелирование короткими лучами с обязательным соблюдением равенства плеч. За окончательное превышение принимают результат повторного нивелирования.

Точность геометрического нивелирования.

Оценку точности геометрического нивелирования подкрановых путей произвести весьма сложно, так как в процессе нивелирования происходит взаимодействие разнообразных источников ошибок.

Точность нивелирования подкрановых путей зависит от типа нивелиров, способа нивелирования, длины визирного луча и условий, в которых он проходит.

По характеру влияния ошибок разделяются на систематические и случайные. При нивелировании подкрановых путей особо важное значение имеет точность определения превышения между соседними точками. Поэтому характер влияния ошибок обоих видов на точность определения превышений принимается примерно одинаковым.

В помещении цеха выдержать условие равенства плеч весьма трудно. Поэтому на точность нивелирования влияет ошибка из-за наклона визирной

оси трубы нивелира, обусловленная непараллельностью визирной оси уровня, а также ошибка, обусловленная смещением фокусирующей линзы при перефокусировке трубы.

Предельная ошибка Δh_i определения превышения, обусловленная наклоном i визирной оси трубы, при наличии разности Δl плеч определяется по формуле

$$\Delta h_i = \frac{i \cdot \Delta l}{\rho}.$$

В соответствии с требованиями Инструкции, предельная величина угла i не должна превышать $20''$. Если с одной стоянки нивелира определяют одновременно несколько точек и при этом нивелир и рейку устанавливают на одной стороне пути, то при шаге колонн 24 м превышение между точками на соседних колоннах определяют с ошибкой

$$\Delta h_i = \frac{20'' \cdot 24000}{206265} = 2,4 \text{ мм.}$$

При том же шаге колонн и длине пролета 25 м максимальная разность Δl расстояний от нивелира до рейки, установленных на противоположных сторонах пути, будет равна

$$\Delta l = \sqrt{25^2 + 24^2} - 25 \approx 10 \text{ м.}$$

В этом случае предельная ошибка Δh_i составит

$$\Delta h_i = \frac{20 \cdot 10000}{206265} \approx 1 \text{ мм.}$$

Под влиянием теплового воздействия на нивелир величина угла i изменятся. Поэтому перед нивелированием необходимо произвести проверку нивелира и добиться минимального значения угла i . Проверку следует по возможности производить в атмосферных условиях, близких к условиям нивелирования.

В процессе работы в цехе нивелир должен устанавливаться в таких местах, где нет источников тепловыделения.

Ошибка из-за наклона визирной оси трубы носит систематический характер. Для снижения ее влияния целесообразно определить значение угла i и ввести поправки в измеренные превышения.

На точность геометрического нивелирования влияет и так называемая «ошибка взгляда», обусловленная в основном точностью отсчета по шкале рейки и точностью приведения пузырька уровня на нульпункт.

Точность отсчета по шкале рейки зависит от разрешающей силы трубы, длины визирного луча, освещенности рейки, величины деления рейки, атмосферных условий.

Средняя квадратическая ошибка отсчета определяется по эмпирической формуле

$$m_0 = \pm \left(0,20 \frac{S}{\nu} + 0,03t \right),$$

где S – длина визирного луча в метрах;

ν – увеличение трубы;

t – цена деления рейки в миллиметрах.

При $S=50$ м, $\nu=25^x$ и $t=10$ мм $m_0=0,7$ мм.

Средняя квадратическая ошибка m_V установки пузырька уровня на нульпункт определяется по эмпирической формуле

$$m_V = \pm(0,21 + 0,035\tau),$$

где τ – цена деления уровня.

При

$$\tau = 20'' m_V = 0'',9.$$

Ошибка взгляда $m_{\text{взгл}}$, обусловленная ошибкой установки пузырька на нульпункт, при длине визирного луча $l=50$ м составит

$$m_{\text{взгл}} = \frac{0,9 \cdot 50000}{200000} \approx 0,2 \text{ мм}$$

Условия работы в действующем промышленном цехе значительно отличаются от полевых условий. Работающие в цехе механизмы создают вибрацию, которая отрицательно влияет на точность установки уровня. Поэтому при нивелировании подкрановых путей в цехах необходимо использовать нивелиры с контактными уровнями или с самоустанавливающейся линией визирования.

Влияние окружающей среды на точность нивелирования подкрановых путей учесть весьма трудно. Главный источник влияния окружающей среды – рефракция.

Явление рефракции обусловлено прохождением оптического луча в неоднородной воздушной среде. Вентиляционные установки, источники тепловыделения являются причиной тому, что давление и температура воздуха в цехе различны. Это различие наблюдается как в плане, так и по высоте цеха. При этом учесть это различие практически очень трудно. Существенно влияние рефракции может быть при измерении в горячих цехах.

Для ослабления влияния рефракции необходимо производить нивелирование при следующих условиях:

- 1) короткими лучами;
- 2) при соблюдении равенства плеч;
- 3) с пола цеха;

- 4) визирный луч не должен проходить вблизи источников тепловыделения и вентиляционных установок;
- 5) в осенне-весенний период, когда система отопления не работает;
- 6) при закрытых окнах, фрамугах и т.п. на пути прохождения визирного луча.

Если эти условия выполнить невозможно, то нивелирование подкрановых путей необходимо производить способами, не связанными с оптическими измерениями.

3.5.2. Тригонометрическое нивелирование

Метод тригонометрического нивелирования применяем в тех случаях, когда пути недоступны для перемещения по ним реечников, расположены на небольшой высоте от пола в цехах с однородным температурным режимом. Плановое положение рельсов определяется способом прямых угловых засечек. В этом случае на станции одновременно измеряют горизонтальные и вертикальные углы при двух положениях вертикального круга.

Расстояние от инструмента до точек определяют решением угловых засечек. Визирование на точки производят при помощи визирных марок. Для их перемещения от точки к точке следует использовать мостовой краны. Визирные марки укрепляют непосредственно на мосту крана на одной высоте от головок обоих рельсов.

Нивелирование рельсов с использованием мостовых кранов дает возможность определить уклоны пути непосредственно под нагрузкой крана, т.е. в реальных условиях их работы.

Так как оценка состояния подкранового пути осуществляется по превышениям между соседними точками вдоль пути и в поперечниках, то определять абсолютные отметки этих точек необязательно. Поэтому высоту инструмента не измеряют, и, следовательно, точность измерений повышается.

Для определения превышения между двумя соседними точками, нивелируемыми с одной станции, достаточно определить их превышения над горизонтом инструмента.

Превышения между определяемыми точками вычисляют по результатам измерений следующим образом.

Пусть горизонтальное расстояние от теодолита (рис.59) до точки $A=L_1$ и до точки $B=L_2$; вертикальный угол $A=\alpha_1$, на точку $B=\alpha_2$.

Тогда высота H точек A и B над горизонтом прибора будет равна соответственно

$$\begin{cases} H_A = L_1 \operatorname{tg} \alpha_1 \\ H_B = L_2 \operatorname{tg} \alpha_2 \end{cases}$$

Превышение h между точками A и B будет равно

$$h = H_B - H_A = L_2 \operatorname{tg} \alpha_2 - L_1 \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (37)$$

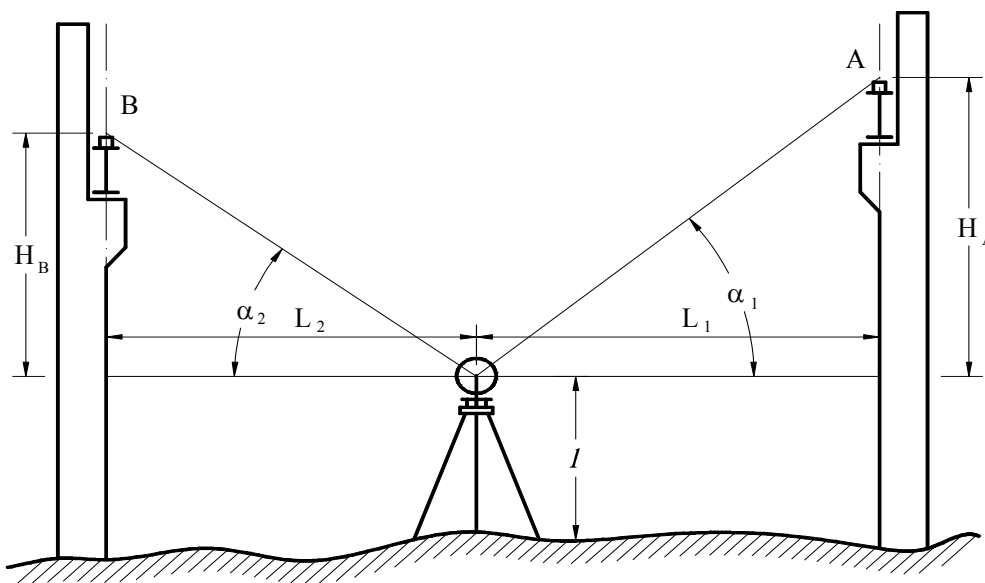


Рис.59. Схема тригонометрического нивелирования подкрановых путей

Так как плановое положение рельсов определяется прямыми угловыми засечками точек с двух-трех пунктов, то превышения между каждой парой точек определяются, следовательно, с двух-трех станций, что обеспечивает надежный контроль измерения. За окончательное значение превышения принимается среднее из всех результатов измерения.

Оценка точности тригонометрического нивелирования. Дифференцируя выражение (37) по переменным α и L и перейдя затем к средним квадратическим ошибкам, получаем

$$M_h^2 = \frac{L_2^2 m_{\alpha_2}^2}{\rho^2 \cos^4 \alpha_2} + \operatorname{tg}^2 \alpha_2 \cdot m_{L_2}^2 + \frac{\alpha_1^2 m_{\alpha_1}^2}{\rho^2 \cos^4 \alpha_1}.$$

При

$$m_{\alpha_1} = m_{\alpha_2} = m_{\alpha} \text{ и } m_{L_1} = m_{L_2} = m_L$$

$$M_h^2 = \frac{m_{\alpha}^2}{\rho^2} \left(\frac{L_2^2}{\cos^4 \alpha_1} + \frac{L_1^2}{\cos^4 \alpha_1} \right) + m_L^2 (\operatorname{tg}^2 \alpha_1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2). \quad (38)$$

Превышения между головками рельсов в двух соседних определяемых точках имеют незначительную величину. Разница в расстоянии от

указанных точек до инструмента также незначительная. Поэтому, положив $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, получим:

$$M_h^2 = \frac{m_\alpha^2}{\rho^2 \cos^4 \alpha} (L_1 + L_2)^2 + 2m_L^2 \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Правая часть выражения (38) представляет собой сумму квадратов средних квадратических ошибок: M_α , обусловленной точностью измерения углов α , и M_L , обусловленной точностью измерения углов длин линий,

$$M_h^2 = M_\alpha^2 + M_L^2.$$

При $L_1 = L_2 = 20$ м, $\alpha = 20^\circ$, $m_\alpha = 10''$,

$$m_{L_1} = m_{L_2} = 2 \text{ мм}, \quad M_h = \frac{10 \cdot 2 \cdot 10^4 \sqrt{2}}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,9} \cong \pm 2 \text{ мм}.$$

Формула (38) позволяет выполнить предрасчет ожидаемой ошибки измерения. Как указывалось ранее, опорные и определяемые точки намечаются на плане пролета, в котором производятся измерения. Значения L и α при известной высоте колонн с достаточной для расчетов точностью могут быть определены по этому плану. Пользуясь формулой (38), можно соответствующим образом построить опорную сеть и так организовать измерения, чтобы ошибка результатов была в пределах необходимой точности.

3.5.3. Гидростатическое нивелирование

Сущность этого способа основана на известном законе сообщающихся сосудов. Приборы, построенные по этому принципу, чрезвычайно просты, надежны в работе. Для их эксплуатации не требуется высокая квалификация исполнителей. В настоящее время разработано несколько видов гидростатических нивелиров. Однако все они отличаются в основном лишь устройствами для повышения точности измерения высоты столба жидкости в сосудах.

Преимущество гидростатического нивелирования состоит в том. Что оно свободно от влияния таких факторов, как вибрация и колебания строительных конструкций, конвекция воздушной среды, неблагоприятно влияющих на точность геометрического и тригонометрического нивелирования.

Громоздкость аппаратуры, ограничивающая применение ее в обычных условиях, при нивелировании подкрановых путей не имеет существенного значения, так как для ее перемещения по путям могут быть использованы

краны. При этом высотное положение рельсов определяется под нагрузкой крана, что особенно важно.

Кроме того, при нивелировании непосредственно с крана можно сразу определять превышения четырех точек вдоль и поперек пролета. Для этого необходимо лишь два обычных гидростатических нивелира соединить в систему.

Нивелирование такой системы выполняется следующим образом.

На концевых балках крана на одинаковой высоте от головки рельса устанавливаются измерительные сосуды. Высоту установки сосудов измеряют линейкой, либо определяют геометрическим нивелированием. Открыв вентили, измерительные сосуды заполняют жидкостью. Затем мостовой кран устанавливают так, чтобы сосуды находились над колоннами, и производят отсчеты. Если шаг колонн значительно превышает базу крана, то на рельсах в местах измерения отмечают точки, в которых кран устанавливают при последующих измерениях. Высота точек на участке рельса 20-30 см практически одинакова, поэтому установка сосуда над точкой в плане с точностью 10-15 см не внесет существенного изменения в результаты повторных измерений. Сделав измерения по всему пролету, сосуды переставляют, и операции повторяют в обратном направлении. За окончательный результат принимается средние значения из двух измерений.

Как отмечалось, при нормальной работы кранов необходимо, чтобы продольное и поперечные уклоны путей были в пределах допусков. Нивелирование рельсов рассмотренным способом обеспечивает надежный контроль этого условия, так как он позволяет определять уклоны непосредственно точек опирания крана на любом участке пути непрерывно.

Нивелирование рельсов можно производить и без крана с установкой сосудов непосредственно на головку рельса. В этом случае при измерении превышений в поперечнике пути для предотвращения возможного разрыва шланга и уменьшения провеса необходимо скрепить его с тросиком, который при помощи скоб или струбцин закрепляют на рельсах.

Гидростатическое нивелирование всех конструкций обеспечивают сравнительно высокую точность. Исследования показали, что в благоприятных условиях превышения точек этим способом можно определять с точностью до десятых долей миллиметра, что вполне достаточно для проверки высотного положения подкрановых путей.

3.6. Совершенствование практики измерения подкрановых путей мостовых кранов

Мостовые краны относятся к объектам повышенной опасности. В целях безопасности эксплуатации этих объектов согласно действующим инструкциям подкрановые пути подлежат обязательному и периодическому контролю их состояния.

Проведение геодезических измерений на действующих предприятиях осложнено и трудоемко, а измерение непосредственно профилей подкрановых путей и контроль их рихтовки относятся к наиболее трудоемким и опасным процессам геодезической практики. К недостаткам практики геодезического контроля подкрановых путей мостовых кранов и современных методик относится отсутствие безопасных технологических измерений (реечник ходит по путям, приборы устанавливаются в непригодных и незащищенных местах). К несовершенству технологии следует отнести и разделенность измерений высотных и плановых профилей.

Кафедра инженерной геодезии в результате исследований разработала и апробировала на практике технологию геодезического контроля путей мостовых кранов, повышающую производительность и безопасность исполнителей. Ее особенность состоит в следующем.

Применяется боковое и геометрическое нивелирование одновременно. Измерительными приборами являются теодолит, нивелир, мерная лента и видоизмененная нивелирная рейка. Ее вид и порядок установки на рельс показан на рис. 60.



Рис.60. Схема установки рейки

В измерениях принимают участие наблюдатель, реечник и машинист крана. При длине цехового пролета не более 100 м теодолит и нивелир устанавливаются на защищенной площадке первого мостового крана в начале (конце) пролета. Рейка с площадки второго крана устанавливается

реечником на рельс в другом конце пролета. Схема производства планово-высотной съемки путей показана на рис. 61.

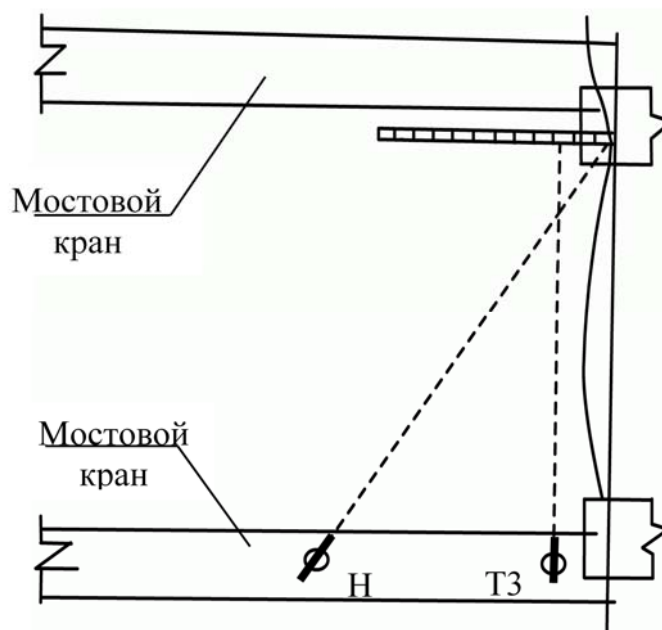


Рис. 61. Схема производства планово-высотной съемки

Наблюдатель снимает отсчеты теодолитом по горизонтальной рейке и нивелиром по вертикальной рейке. Измерения выполняются по каждому рельсу отдельно. При длине цеховых пролетов более 100м в пролете имеется не менее трех кранов. В этом случае инструменты устанавливаются на кране в середине пролета.

За исходную точку отсчета высот принимается одна из нивелируемых точек пути. Начальным отсчетом бокового нивелирования является отсчет по горизонтальной рейке в начальной точке. При дискретном движении крана рейка устанавливается в необходимых точках. Снимаются отсчеты по горизонтальной и вертикальной шкале рейки. По окончании измерений на одном из рельсовых путей инструменты переносятся на противоположную площадку крана и устанавливаются в рабочее положение. Высотная съемка с первой нити рельса передается на нивелируемые точки второй нити рельсового пути.

В плановом отношении взаимное положение основных направлений рельсов опирается на измеренные мерной лентой расстояния между осями рельс в начале и конце пролета. Обработка измерений выполняется в следующем порядке.

Высотные отметки определяются по общепринятой методике. Для построения горизонтального профиля подкрановых путей используется следующая методика.

В целях упрощения измерений повышения их производительности визирный луч теодолита ориентируется произвольно, т.е. первоначальный отсчет по горизонтальной рейке берется произвольный.

Труба теодолита визируется по четкому произвольному ориентиру в пределах горизонтальной рейки и по створу этого ориентира берутся отсчеты по рейке и в дальнейшем осуществляется контроль сохранения положения визирного луча относительно прямой линии, проходящей через две точки (начальной и конечной) участка оси рельсового пути. При принятом упрощении самого процесса измерения горизонтального профиля рельсового пути нарушается параллельность визирного луча оси линии «начальная – конечная» точки рельсового пути. Для получения расчетной параллельности линий визирования и оси рельса используется прием, приведенный на рис. 62.

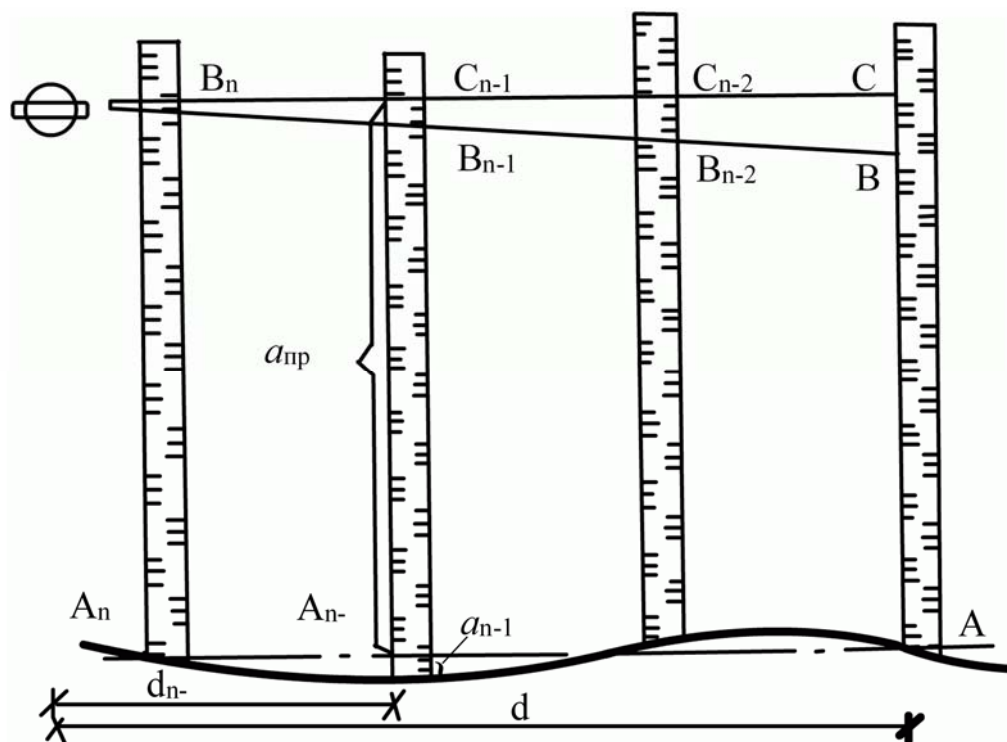


Рис.62. Схема приведения отсчетов, соответствующих параллельности визирного луча и оси рельсового пути:

AA_n – начало и конец подкранового пути; BB_n – направление визирного луча; CB_n – приведенное направление визирного луча; d – длина подкранового пути от начальной и конечной точек; d_{n-1} – расстояние от теодолита до рейки, установленной на фиксируемой точке; AB , A_nB_n – отсчеты по рейке в начальной и конечной точках

Редукция фактических отсчетов по рейке выполняется в следующем порядке. Определяется величина поправок. Из решения подобных треугольников по формуле

$$B_{n-1}C_{n-1} = \frac{BC}{d} \cdot d_{n-1},$$

где BC – разность конечного и начального отсчетов по рейке ($A_nB_n - AB$). Определяется приведенный к прямой линии параллельной оси рельсов отсчет:

$$a_{пр} = A_nB_n + B_{n-1}C_{n-1}.$$

Определяется величина смещения фактического положения рельса от его оси

$$a_{см} = A_nB_n - a_{пр}.$$

3.6.1. Использование вертикального базиса при определении плано-высотного положения надземного пути

Для определения плано-высотного положения подкранового пути полукозлового крана КП20УЭ (на территории ТЭЦ-1 г. Пензы) была применена специальная рейка с вертикальным базисом. Схема устройства марки с вертикальным базисом представлена на рис. 63. Базис «b» равен 1,5 м. Штанга на которой крепятся верхняя и нижняя марки устанавливается отвесно с помощью круглого уровня и отвеса.

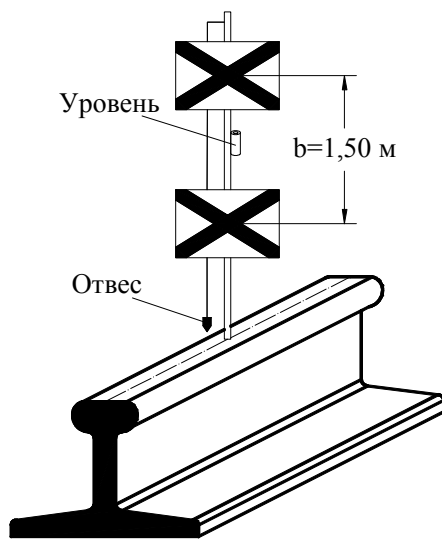


Рис.63.Схема устройства марки с вертикальным базисом

Для определения положения конечных точек пути использовался способ угловой засечки с конечных точек базиса, разбиваемого на земле, с применением двухштативной системы и теодолитов Т2. На основании полученных результатов определялись координаты конечных точек в условной системе координат. Для удобства вычислений за одну из координатных осей принимают направление базиса. Далее по уже известным формулам определяют координаты наблюдаемых точек.

С конечных точек базиса измерялось горизонтальные и вертикальные углы при наведении на центры (верхнюю и нижнюю) марки (рис.64).

По полученным значениям вертикальных углов на точки C и D с точки базиса b_1 на земле вычисляют отметки головки рельса (рис.65) используя формулу:

$$\gamma = 180^\circ - v_2 - 90^\circ = 180^\circ - v_2;$$

$$H_M = H_{A1} + i_{A1} + h_2 - b_2 - m; h_2 = dtq v_2;$$

$$H_M = H_{A1} + h_1 - m; h = \alpha_{At-D} \cdot tq v_1;$$

где b_1 и b_2 – базисы, измеренные компарированной рулеткой;

m – расстояние от головки рельса до нижнего центра базиса b_2 , измеренные компарированной рулеткой.

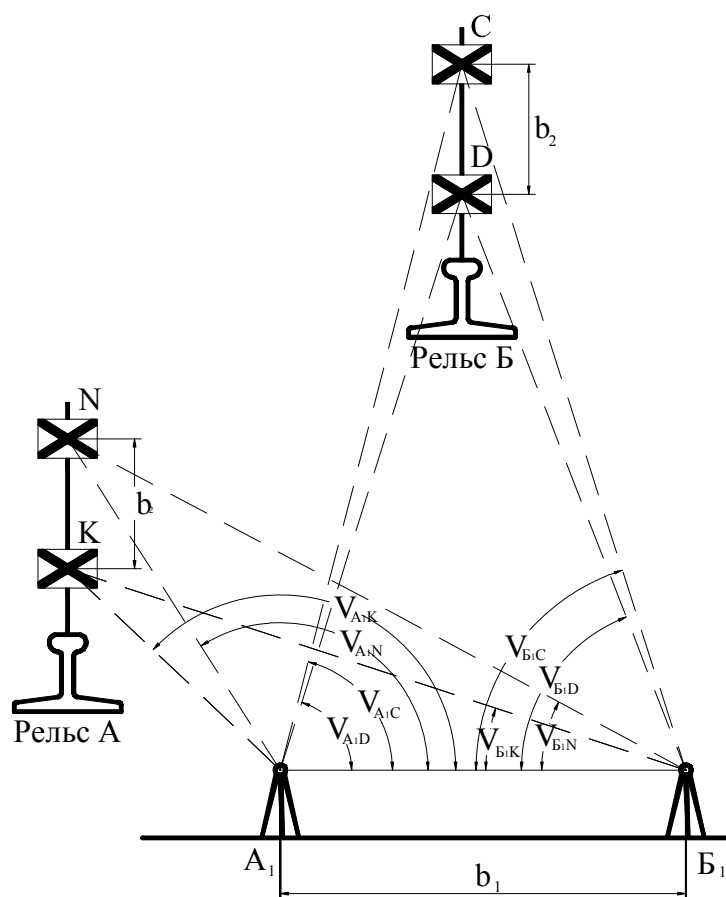


Рис.64. Схема определения положения головок рельсов с использованием вертикального базиса

Правильность вычисления отметок головок рельсов проверяется с другой точки (B_1) базиса –1.

А так как расстояние d до определяемых точек с конечных точек базиса получают с достаточно высокой точностью (порядка 1/10000), то и превышения вычисляют с точностью геометрического нивелирования.

Для определения промежуточных точек (голова рельсов) применялась специальная рейка. Вид ее и установка на рельс показан на рис. 34.

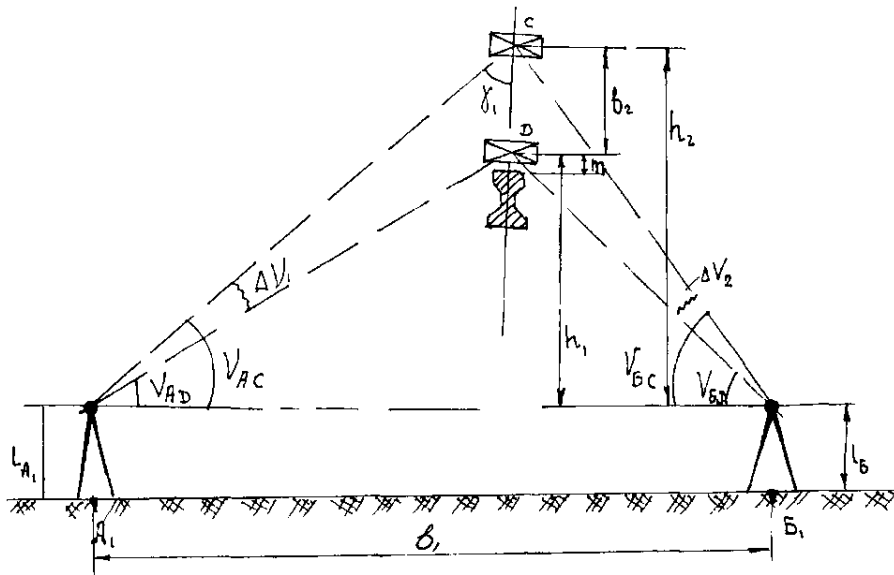


Рис. 65. Схема определения отметки головки рельса по вертикальному базису.

Теодолит и нивелир устанавливаются на защищенной площадке у конечной точки рельса на расстоянии не менее 2 метров от рельсового пути. Реечник с вышеописанной рейкой занимает место на кране, устанавливает рейку на рельс, а наблюдатель по теодолиту берут отсчеты по горизонтальной рейке и нивелиром по вертикальной рейке. Измерения выполняются по каждому рельсу отдельно. Камеральная обработка результатов измерений производится по общепринятой методике.

3.6.2. Производство плано-высотной съемки в неблагоприятных для измерения условиях

Условия работы в промышленном цехе значительно отличаются от полевых условий. Механизмы, работающие в цехе, создают вибрацию, которая отрицательно влияет на точность установки уровня. Поэтому при нивелировании подкрановых путей в цехах необходимо использовать нивелиры с контактными уровнями или с самоустанавливающейся линией визирования.

Главный источник влияния окружающей среды – рефракция. Явление рефракции обусловлено прохождением оптического луча в неоднородной воздушной среде. Вентиляционные установки, источники тепловыделения являются причиной тому, что давление и температура воздуха в цехе различны. Учесть эти различия практически очень трудно. Для ослабления

влияния рефракции необходимо производить нивелирование при следующих условиях:

- 1) короткими лучами;
- 2) при соблюдении равенства плеч;
- 3) с пола цеха;
- 4) визирный луч не должен проходить вблизи источников тепловыделения и вентиляционных установок;
- 5) в осенне-весенний период, когда система отопления не работает;
- 6) при закрытых окнах, фрамугах и т.п. на пути прохождения визирного луча.

С точки зрения обеспечения безопасной технологии производства планово-высотной съемки подкрановых путей для ее исполнителей (наблюдателей, реечника), а также с целью повышения производительности труда (что исключает или сокращает время нахождения на подкрановых путях в условиях большой высоты, загазованности и температуры) заслуживает внимания методика одновременного измерения плановых и вертикальных профилей непосредственно на полу промышленного цеха. Для этого можно применить нивелирную рейку с изменяющимся положением отсчетной шкалы в зависимости от изменения планово-высотного положения измеряемой точки рельса и уровня, а также с дополнительной шкалой. Устанавливаемой перпендикулярно первой и подвешиваемой на горизонтальном основании. Эта конструкция в виде 2-х взаимно перпендикулярных нивелирных реек подвешивается на корпусе мостового крана вблизи рельса с возможностью движения в горизонтальной плоскости перпендикулярно рельсу и снабжается на одном конце опорным подшипником, которым прижимается к боковой направляющей рельса специальной пружиной.

На рис. 66 представлена блок-схема предлагаемого устройства. Оно содержит горизонтальную 2 и вертикальную 3 шкалы и уровни 4, основание 1, укрепленное в направляющих 6 корпуса крана 7, опорный подшипник 8 основания, пружину 9 для прижатия основания к рельсу 5.

Направляющие и основание могут быть выполнены в двух вариантах – съемном и постоянно закрепленном.

В мастерской кафедры «Землеустройство и геодезия» ПГУАС был изготовлен, а затем и апробирован на Пензенской ТЭЦ-1 опытный образец съемного варианта предлагаемого устройства, прикрепляемого к корпусу мостового крана.

Принцип установки и работы предлагаемого устройства состоит в следующем. Устанавливают основание в отверстие направляющих, опорным подшипником основание прижимается к рельсу пружиной. Устанавливают рейку со шкалами на заранее определенной высоте.

Инструменты (теодолит и нивелир или только нивелир) устанавливают на твердом покрытии пола цеха в соответствующих местах. При движении

крана пятки шкал вырисовывают в пространстве профиль рельса. В необходимых точках снимаются отсчеты по шкалам 2 и 3 в соответствии с полем зрения трубы 10.

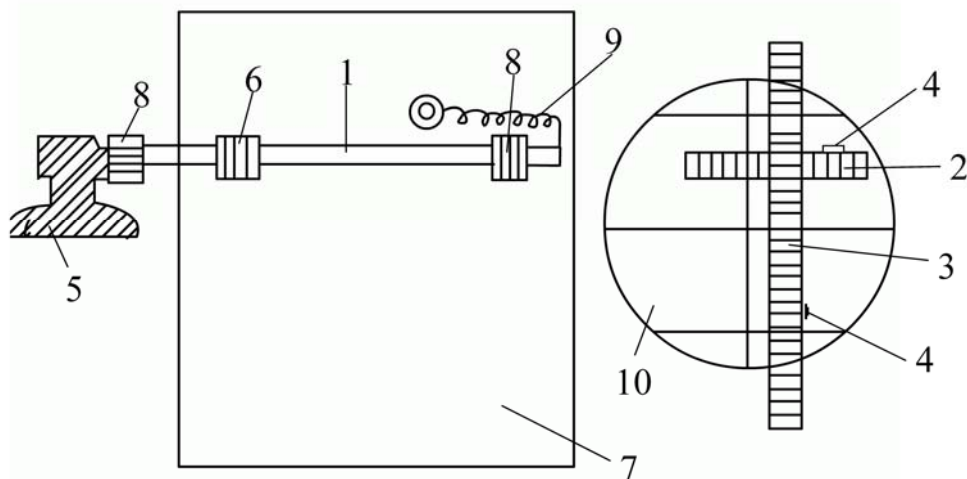


Рис.66. Блок-схема рейки для измерения профилей подкрановых путей мостовых кранов

Использование предлагаемого устройства по сравнению с известными обеспечивает следующие преимущества:

1. Безопасность работы наблюдателя и его помощника, т.к. они работают на полу цеха.

2. Высокую производительность и точность измерений за счет улучшения условий измерения (технических и психологических условий по сравнению с работой на горизонте подкрановых путей).

3. Конструкция позволяет одним инструментом (нивелиром) измерять одновременно вертикальный и горизонтальный профиль подкранового пути.

4. Исключение использования в устройстве контактных датчиков и сложной аппаратуры, проводов и тросиков для каретки.

Изготовленное устройство для планово-высотной съемки подкрановых путей мостовых кранов было апробировано на ТЭЦ-1. Апробация показала преимущества данного устройства по обеспечению безопасной технологии производства профилей рельсовых путей, а также повышению производительности труда и улучшению технических и психологических целевых измерений.

Применение данного устройства (с учетом качественного изготовления конструкций устройства и увеличения длины основания) особенно эффективно в цехах, где измерения на горизонте подкрановых путей из-за высокой температуры (горячие цеха) и высокой загазованности обычными методами невозможны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии обобщены научные и практические результаты, полученные автором в процессе комплексного исследования данной проблемы, включающего изучение методов и способов инструментального наблюдения за деформациями зданий и сооружений, геодезических измерений по инженерной оценке состояния эксплуатационных качеств здания, а также выполнение плановой и высотной съемок надземных подкрановых путей мостовых кранов. Это позволило сформировать основные методы и способы проведения вышеуказанных геодезических измерений с точки зрения обеспечения точности и производительности их выполнения, а также соблюдения техники безопасности исполнителями и сделать следующие выводы.

В процессе инструментального наблюдения за деформациями зданий и сооружений геодезическими методами и в целях инженерной оценки их состояния необходимо выполнять измерения происходящих или возможных осадок «вертикальных смещений» методом геометрического и гидростатического нивелирования, измерения горизонтальных смещений «Сдвигов» и крена «отклонения по вертикали» с использованием высокоточного теодолита. Кроме этого необходимо выполнять геометрические обмеры здания измерения по определению вертикальности стен, а также плановую и высотную съемки элементов здания.

Состав геодезического обеспечения безопасной эксплуатации подкрановых путей грузоподъемных мостовых кранов входят различные способы измерения геодезическими методами: ширины колеи рельсового пути и их прямолинейности, взаимных смещений осей рельсовых путей, а также горизонтальности и уклона рельсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брауде, И.В. Справочник по кранам. В 2-х т., Т-1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчеты кранов, их приводов и металлических конструкций [Текст] / В.И. Брауде [и др.]; ред. М.М. Гохберг. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с.
2. Ганьшин, В.Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей [Текст] / В.Н. Ганьшин, И.М. Репалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 120 с.
3. Ганьшин, В.Н. Геодезические работы при реконструкции промышленных предприятий [Текст] / В.Н. Ганьшин, Б.И. Коськов, И.М. Репалов. – М.: Недра, 1990.
4. Застуев, А.К. Геодезические методы исследования деформаций сооружения [Текст] / А.К. Застуев [и др.]. – М.: Недра, 1991.
5. Золотова, Е.В. Геодезия с основами кадастра [Текст]: учебник для вузов / Е.В. Золотова, Р.Н. Скогорева. – М.: Академический проект: Трикста, 2011. – 413 с.
6. Инструктивные материалы по обследованию, выверке и надзору за изготовлением и ремонтом крановых металлоконструкций [Текст]: Альбом 2. – М., 1984. – 112с.
7. Инструкция по устройству, эксплуатации и перебазированию рельсовых путей башенных кранов [Текст]: СН 78-79. – М.; Стройиздат, 1980.
8. Инструкция по эксплуатации металлических резервуаров для хранения жидкого топлива и горячей воды. Строительные конструкции [Текст]: РД 34.21.562-95.
9. Исполнительная техническая документация при строительстве зданий и сооружений. Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства» [Текст]: справочное пособие. – СПб., 2005 – 37 с.
10. Каталог геодезических приборов и технических средств геодезического назначения [Текст]. – М.: ГСПИ, 1995.
11. Киселев, М.И. Геодезия [Текст]: учебник для среднего профессионального образования / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издат. центр «Академия», 2004. – 384 с.
12. Климов, О.Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений [Текст]: учеб. пособие для студентов геодезических специальностей вузов / О.Д. Климов. – М.: Недра, 1991.
13. Ключин, Е.Б. Инженерная геодезия [Текст]: учебник для вузов / Е.Б. Ключин, М.И. Киселёв, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; под ред. Д.Ш. Михелева. – 7-е изд., стер. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 480 с.
14. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений

строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций [Текст]: АО «Фирма ОРГРЭС». – М.: ГНИИПИ «Теплоэлектропроект», 1997.

15. Перфилов, В.Ф. Геодезия [Текст]: учебник для вузов / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 350 с.

16. Поклад, Г.Г. Геодезия [Текст]: учеб. пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Академический Проект; 2011. – 538 с.

17. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ-10-14-92) [Текст]/ Госгортехнадзор России. – М.: ПИО ОБТ, 1996. – 199с.

18. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей архитектурных сооружений [Текст]. – М.: Стройиздат, 1984.

19. СНиП П.02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения [Текст]. – М.: Минстрой, 1997.

20. СНИП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве [Текст].

21. Сытник, В.С. Геодезический контроль точности возведения монолитных зданий и сооружений [Текст] / В.С. Сытник, А.Б. Ключин. – М.: Стройиздат, 1981.

22. ТСН 12-316-2002 Санкт-Петербург. Приемка и ввод в эксплуатацию законченных строительством объектов недвижимости.

23. Хаметов, Т.И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений [Текст]: учеб. пособие / Т.И. Хаметов. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 286 с.

*Главнейшие ошибки при высокоточном нивелировании
короткими лучами*

Как известно, при нивелировании достижение высокой точности возможно только при тщательном учете всех источников ошибок и применении метода, максимально ослабляющего их действие.

Случайные и систематические ошибки можно разделить на две основные группы:

А. Инструментальные ошибки.

Б. Ошибки, возникающие от влияния отдельных внешних факторов.

Согласно принятой классификации, рассмотрим влияние отдельных групп ошибок на результаты нивелирования при измерениях осадок сооружений.

А. Инструментальные ошибки

1. Ошибка совмещения изображений концов пузырька уровня

Согласно данным лабораторных исследований ЦНИИГАиК, проведенных на экзаменаторе, для современных отечественных высокоточных нивелиров средняя квадратическая ошибка совмещения изображения концов пузырька уровня

$$m''_{\text{совм}} = \pm 0,25'';$$

непосредственные же определения дают различные значения о $m''_{\text{совм}}$ для разных расстояний от нивелира до рейки; так, например, для расстояний до 50 м

$$m''_{\text{совм}} = \pm 0,22 \pm 0,019$$

и для расстояний 7–15 м

$$m''_{\text{совм}} = \pm 0,33 \pm 0,013.$$

Хорошая сходимость значений во всех случаях позволяет принять среднее из них для расстояний в 25 м:

$$m''_{\text{совм}} = \pm 0,27'',$$

или в линейной мере

2. Ошибка наведения биссектора на штрих рейки

Для определения ошибки наведения многими авторами были выведены формулы, устанавливающие зависимость между величинами

$$m_{\text{нав}} = f(L, v, t),$$

где L – длина визирного луча, м;

v – увеличение трубы;

t – величина деления рейки, мм.

По Н. А. Павлову,

$$m_{\text{нав}} = \pm \left(a + b \frac{Lt}{v} \right).$$

где a и b – коэффициенты, равные для нивелиров с плоско-параллельной пластинкой соответственно 0,092 и 0,0218,

L – длина визирного луча в метрах,

t – толщина штриха.

Данные исследований, выполненных в ЦНИИГАиК показывают, что в современных отечественных высокоточных нивелирах с плоско-параллельной пластинкой ($v=46^x$ и $t=9''$) ошибка одного наведения биссектора на штрих рейки для расстояния в 50 м равна $m''_{\text{нав}} = \pm 0'',17 \pm 0'',013$, а для расстояний 7–15 м

$$m''_{\text{нав}} = \pm 0'',25 \pm 0'',021.$$

Как видно, $m''_{\text{нав}}$ для расстояний в пределах 7–15 м больше, чем для расстояния в 50 м. Это объясняется тем, что при коротких расстояниях штрих рейки виден более толстым, чем нити, и вызывает неточность в наведении биссектора на штрих. При длине луча в 25 м можно принять ошибку $m''_{\text{нав}} = \pm 0'',21$; тогда ошибка одного наведения биссектора на штрих рейки в линейной мере будет

$$m_{\text{нав}} = \pm \frac{0,21 \cdot 25000}{206265} = \pm 0,03 \text{ мм}.$$

Кроме того, необходимо отметить, что в 1947—1951 гг. в ЦНИИГАиК были проведены исследования по определению влияния освещенности реек на точность отсчета при визировании в зрительную трубу.

На основании исследований установлено, что степень освещенности реек не влияет на точность отсчета, если деления на рейках видны отчетливо, при этом имеются в виду как естественное освещение реек, так и искусственное (электрический или свет от других источников). Проведен сравнительный анализ точности взгляда при наблюдении реек, имеющих белый и желтый фон. Установлено, что целесообразней применять рейки с желтым фоном.

3. Ошибки, вызываемые непараллельностью оси уровня и визирной оси трубы

Вследствие неполной выверки инструмента и термического влияния в нем всегда имеется некоторый малый угол i между визирной осью трубы и осью уровня.

Ошибки, вызываемые непараллельностью оси уровня и визирной оси трубы, могут быть исключены при нивелировании строго из середины (при условии постоянства угла g).

Максимальным значением угла i , при котором инструмент допускается к работе при нивелировании I класса, является величина, равная $20''$.

Если разница расстояний между нивелиром и рейками не превышает 10 см, то изменение угла i на $20''$ дает ошибку в превышении, равную

$$\Delta h = \frac{100 \cdot 20}{206065} = 0,01 \text{ мм}$$

При нивелировании строго из середины случайных ошибок, вызываемых изменением положения визирной оси трубы в результате хода фокусирующей линзы, не возникает.

4. Ошибки от неточности нанесения делений на рейках

Как правило, отечественные инварные нивелирные рейки изготавливаются так, чтобы ошибка длины отдельных метров, а также ошибка всей длины рейки (3 м) не превышала +0,15 мм.

Эти ошибки могут оказать некоторое систематическое влияние на, точность передачи высот и в первую очередь в коротком нивелирном ходе, поэтому к компарированию реек и составлению таблиц их поправок надо отнестись очень строго.

Поправки из-за неточности нанесения делений на рейках вводят пропорционально величине отсчета.

Принимая во внимание, что величины осадок невелики, измерения будут почти свободны от влияния ошибок неточности нанесения делений на рейках, если нивелирование выполняется одной рейкой, а марки заложены на одном уровне.

5. Ошибки, возникающие вследствие неточного совмещения начала делений каждой рейки относительно нижней плоскости ее подошвы

Эти ошибки (от неравенства нулей) могут быть полностью исключены применением только одной рейки или двух с их взаимной перестановкой при втором горизонте инструмента.

6. Ошибка, возникающая вследствие неправильной установки рейки на нивелирной марке

В эту ошибку входят следующие независимые ошибки:

- а) ошибка за неправильное крепление устройств, служащих для подвешивания отвеса;
- б) ошибка за перекося плоскости пятки рейки,
- в) ошибка за прогиб самой рейки вследствие ее коробления,
- г) ошибка за наклон рейки.

Наибольшая величина случайной ошибки в отсчете по наклонной рейке зависит от удаления точки соприкосновения пятки рейки с маркой от оси рейки и может достигнуть величины порядка +0,4 мм. Эта ошибка подсчитана при высоте визирного луча над пяткой рейки $b = 1500$ мм и при максимальном угле наклона оси рейки $\beta = 25'$.

Однако, как показала практика, при помощи опор можно установить рейку с наклоном, не превышающим 6—9', что может вызвать ошибку, равную — 0,005 мм, если, конечно, рейка соприкасается с нивелирной маркой точно в плоскости пересечения инварной полоски с пяткой рейки. Последнее обстоятельство легко достигается применением специального подпятника, обеспечивающего постановку рейки всегда на одно и то же место.

7. Ошибка в определении цены деления барабана микрометра и ошибка работы передаточного механизма от барабана к плоско-параллельной пластинке

Эти ошибки могут возникнуть в зависимости от износа деталей и их регулировки. Чтобы не допустить их, нивелир заблаговременно проверяют и соответственно подбирают в лабораторных условиях такой, в котором данные ошибки практически не ощущаются.

Б. Ошибки, возникающие от влияния отдельных внешних факторов

1. Ошибки, возникающие вследствие изменения высоты инструмента во время наблюдения на станции

На станции высота инструмента во время наблюдений должна быть неизменной. Но в действительности, как показывает опыт, она меняется, вследствие чего в измеренные превышения вносятся систематические ошибки.

На основании экспериментальных исследований ЦНИИГАиК установлено, что во время наблюдений на станции штатив инструмента перемещается по высоте в любых грунтах. Ошибка превышения за счет перемещения штатива для плотных грунтов достигает 0,02 мм.

В большинстве случаев высота инструмента изменяется вследствие подъема ножек штатива. Чем глубже вдавлены ножки штатива в грунт, тем сильнее происходит их выпирание.

При условии одинакового характера и скорости изменения высоты инструмента (при первом и втором горизонтах) и полной симметрии (во времени) отсчетов влияние этой ошибки при измерениях осадок будет значительно компенсироваться. Кроме того, чтобы значительно ослабить появление ошибок от изменения высоты инструмента, необходимо при наблюдениях штатив устанавливать без перекосов и значительных напряжений, ножки его сильно не заглублять и шарниры в головке штатива туго не затягивать. Обходить штатив желательно с одной и той же стороны на расстоянии примерно 0,5 м.

Основанием для установки ножек штатива на строительных площадках следует выбирать бетонные полы подвалов, перекрытий и т. п.

2. Ошибки, возникающие вследствие воздействия на инструмент температурных влияний

Под действием температурных влияний появляется некоторая временная деформация отдельных частей инструмента, которая может вызвать изменение малого угла i между осью уровня и визирной осью трубы. Изменение угла i является одним из важнейших источников ошибок нивелирования.

Продолжение прил. 1

Согласно экспериментальным данным ЦНИИГАиК, установлено, что влияние изменений угла i на результаты нивелирования различно в разные периоды дня: вечером сильнее и устойчивее, чем утром.

Постепенное изменение температуры воздуха приводит к изменениям угла i в среднем на 0,4–0,6" на 1°C.

Возможна также перемена угла i неравномерными скачками; внезапное его изменение на 5" при расстоянии, равном 50 м, может привести к ошибке в отсчете в 1,2 мм.

Известно также, что угол i может меняться в зависимости от положения солнца относительно нивелира. Пузырек уровня как бы тянется в его сторону, и это движение учесть невозможно. Поэтому во время наблюдений необходимо инструмент защищать от действия на него солнца и возможных (в условиях строительства) сильных тепловых источников.

Для сохранения постоянства угла i необходимо, чтобы инструмент к началу наблюдений на станции принял и все время сохранял температуру окружающей его воздушной среды. Наблюдения должны начинаться не ранее чем через 30 мин после выноса инструмента на воздух или переноса его в другие температурные условия.

Если угол i меняется равномерно с течением времени, то соблюдение строгого равенства расстояний от нивелира до реек, симметрии наблюдений и малой продолжительности работы на станции избавляют результаты наблюдений от ряда систематических ошибок.

В настоящее время для борьбы с тепловыми воздействиями в ЦНИИГАиК изготовлен образец термостатированного нивелира, у которого труба и оправа уровня защищены пенопластом. Кроме того, в последнее время на народном предприятии Цейсса в ГДР выпущена новая модель глухого нивелира № 004. Особенностью его является устройство специального кожуха, который предохраняет зрительную трубу и уровень от тепловых влияний.

3. Ошибки, возникающие вследствие действия рефракции

До последнего времени влияние рефракции на результаты нивелирования несколько переоценивалось, так как оно считалось одним из основных источников систематических ошибок.

Влияние рефракции было основано на представлении о распределении температур и плотности воздуха в приземном слое по закону теплопроводности. При этом предполагалось, что слои воздуха равной плотности имеют поверхности раздела, примерно параллельные поверхности почвы на данном участке, в силу чего визирный луч искривляется тем больше, чем ближе к поверхности земли он проходит.

Продолжение прил. 1

Последние исследования ЦНИИГАиК, проведенные в соответствии с современными представлениями о турбулентном теплообмене в приземном слое воздуха, дают новое, научно обоснованное трактование влияния рефракции на результаты нивелирования.

Опытными данными подтверждено, что под воздействием рефракции визирный луч систематически изгибается в ту или иную сторону, при этом величина изгиба зависит от высоты визирного луча над поверхностью земли. Если она не меньше 0,7—0,8 м и одинакова для задней и передней реек, то можно считать, что ошибки из-за рефракции в превышении относительно малы и часто меняются по величине. Поэтому ясно, что ошибки от влияния рефракции не могут быть исключены из результатов нивелирования путем простого введения поправок, вычисленных по формулам, ибо они по своему происхождению являются случайными ошибками при нивелировании из середины.

При коротких линиях визирования (10–15 м) влияние рефракции во многом ослабляется, так как это влияние уменьшается пропорционально квадрату расстояния от инструмента до рейки. Если ошибка от рефракции при длине линии визирования в 50 л выражается несколькими десятками миллиметра, то при линии визирования, равной 10–15 м, ошибка будет выражаться в сотых долях миллиметра и в расчет не принимается.

Согласно исследованиям ЦНИИГАиК, для ослабления ошибок от внешних условий рекомендуется нивелирование выполнять утром не менее чем через 30 мин после восхода солнца и вечером не позднее чем за час до захода солнца. В закрытых помещениях имеющих равномерную температуру, наблюдения могут производиться в любое время.

4. Ошибки, возникающие вследствие явления конвекционных токов воздуха

Конвекционные токи воздуха способствуют возникновению колебания изображений, затрудняющих точное наведение биссектора на штрих рейки. Законы появления этих токов и действие их во времени исключительно сложны. Поэтому осадки сооружений рекомендуется измерять в периоды, близкие к восходу и особенно к заходу солнца, при сильном и порывистом ветре, при резких скачкообразных колебаниях температуры воздуха и пр.

При наличии конвекционных токов воздуха внутри строящихся или эксплуатируемых сооружений, когда визирный луч проходит вблизи радиаторов центрального отопления, воздуходувок, паропроводов и т.п., измерения надо проводить чрезвычайно осторожно. В практике измерений осадок теплостанций были случаи, когда в сложных температурных условиях ошибка отсчета от воздействия конвекционных токов достигала величины порядка 2 мм. При этом общее состояние инструмента во время наблюдений было вполне надежным и устойчивым, а положение пузырька уровня было строго на середине.

Особенно много трудностей возникает при передаче превышений из внутренних помещений наружу или, наоборот, когда имеется значительная разница в температурах воздуха. В этом случае надо иметь в виду, что направление визирного луча, кроме конвекции, будет дополнительно искажаться явлением рефракции.

Для исключения этих ошибок необходимо стремиться, чтобы по пути линии визирования температура воздуха была равномерной. Это достигается своеобразным шлюзованием, при котором вначале открывают наружную дверь или окно и ждут, когда произойдет выравнивание температуры в прилегающем к улице помещении, после чего производят нивелирование. Затем наружную дверь или окно закрывают, температура в смежных внутренних помещениях выравнивается, после чего нивелирование выполняется обычным порядком.

5. Ошибки, возникающие вследствие периодического изменения длины реперной трубы от сезонного колебания температуры

Одним из недостатков современных конструкций глубинных незащитаемых реперов (кроме биметаллического) является отсутствие точного учета влияния сезонного колебания температуры на изменение длины основной реперной трубы. Ошибки, вызванные изменением длины реперной трубы под действием разности температур, особенно в эксплуатационный период, когда процесс осадки близок к стабилизации или затуханию, могут значительно исказить результаты даже весьма тщательно поставленных измерений, тем более что они являются источником ошибок самой высотной основы.

Для исключения этих ошибок необходимо знать температурное изменение длины реперной трубы по сравнению с начальной ее длиной в момент первого цикла наблюдений.

Величина температурного изменения длины репера вычисляется по формуле

$$\Delta_1 = \alpha_c l_1 t_1,$$

где α_c – коэффициент линейного расширения стальной реперной трубы, равный 0,000012;

l_1 – длина реперной трубы до зоны постоянной температуры;

t_1 – средняя амплитуда сезонного колебания температуры в реперной трубе.

По данным физической обсерватории, в Лесном, под Ленинградом, зона постоянных температур грунта для средней полосы Европейской части СССР находится примерно на глубине 18 м, а средняя амплитуда сезонного колебания температуры в вышележащих слоях грунта примерно равна 7–9°.

Подставляя среднее из этих значений в формулу, получим

$$\Delta_1 = 0,000012 \cdot 18 \cdot 8 = 0,00173 \text{ м} = 1,73 \text{ мм.}$$

Окончание прил. 1

С данным источником ошибок необходимо считаться и при повторных измерениях вводить соответствующие поправки в исходную высотную основу, стремясь при этом ответственные измерения производить при одинаковых температурных условиях.

6. Ошибки, возникающие вследствие периодического расширения или сжатия стен сооружения от изменения температуры на высоте от подошвы фундамента до уровня расположения марок

Эти ошибки также имеют существенное значение для получения фактических осадок сооружений и могут быть определены по аналогичной формуле

$$\Delta_2 = \alpha_2 l_2 t_2,$$

где α_2 – коэффициент линейного расширения строительного материала, из которого изготовлены наружные стены и фундамент сооружения;

l_2 – высота стен и фундамента от его подошвы до уровня марок;

t_2 – средняя амплитуда колебания температуры в толще кладки стен.

Для примера рассчитаем расширение или сжатие части бетонной стены и фундамента высотой 3,5 м в период между наблюдениями зимой при $t_2' = 10^\circ$ и летом при $t_2'' = +10^\circ$, принимая при этом коэффициент линейного расширения бетона равным 0,000012.

Подставив указанные значения в формулу, получим

$$\Delta_2 = 0,000012 \cdot 3,5 \cdot 20 = 0,00084 \text{ м} = 0,84 \text{ мм.}$$

Необходимо иметь в виду, что ошибка Δ_2 строительный период имеет величину, значительно отличающуюся от ее величины в период эксплуатации, когда температура внутри сооружения стабилизируется.

При анализе материалов наблюдения за осадками сооружений последние два источника ошибок, Δ_1 и Δ_2 , нужно рассматривать совместно, так как они часто в некоторой степени могут исключать друг друга.

Приложение 2

Расчет возможной точности измерений осадок сооружений

Точность измерений осадок при помощи высокоточного нивелирования зависит от ряда ошибок, большинство из которых может быть устранено или ослаблено рекомендованной методикой работ.

Одной из главных ошибок является, как известно, ошибка взгляда на рейку, которая выражается формулой

$$m_{\text{взгл}} = \pm \sqrt{m_{\text{совм}}^2 + m_{\text{нав}}^2},$$

где $m_{\text{совм}}$ – средняя квадратическая ошибка совмещения изображений концов пузырька уровня,

$m_{\text{нав}}$ – средняя квадратическая ошибка наведения биссектора на штрих рейки. При работе высокоточным нивелиром с плоскопараллельной пластинкой ($\nu = 46^x$, $\tau = 9''$) и при длине визирного луча $L = 25$ м средняя квадратическая ошибка взгляда на рейку будет

$$m_{\text{взгл}} = \pm \sqrt{0,03^2 + 0,03^2}.$$

При нивелировании одним горизонтом с отсчитыванием по двум шкалам инварной рейки средняя квадратическая ошибка определения превышения, обусловленная ошибками взглядов по рейкам, будет равна

$$m_{\text{прев}} = \pm \frac{m_{\text{взгл}} \sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \pm 0,04 \text{ мм}.$$

При нивелировании двумя горизонтами средняя квадратическая ошибка превышения на одной станции будет

$$m_{\text{прев}} = \pm \frac{m_{\text{взгл}} \sqrt{2}}{\sqrt{2} \sqrt{2}} = \pm 0,04 \frac{1}{\sqrt{2}} = \pm 0,03 \text{ мм}$$

Такая высокая точность нивелирования может быть достигнута при выполнении работы в исключительно благоприятных условиях. Практически же надо считаться с тем, что внешние условия будут вносить другие дополнительные ошибки, значительно превышающие указанную точность.

Опыты ЦНИИГАиК подтверждают, что при нивелировании нетермостатированным инструментом в результате входят другие дополнительные ошибки. Поэтому при расчетах лучше пользоваться данными прямых, более надежных определений ошибок наблюдений на одной станции, а именно:

$$m_{\text{нав}} = \pm 0,04 \text{ мм}$$

$$m_{\text{совм}} = \pm 0,07 \text{ мм}$$

$$m_{\text{взгл}} = \pm 0,08 \text{ мм}$$

$$m_{\text{прев}} = \pm 0,13 \text{ мм}$$

Учитывая, что предельная ошибка равна удвоенной средней квадратической ошибке, получим допустимую предельную невязку в замкнутом полигоне для n станций, равную

$$M = \pm 2m_{\text{прев}} \sqrt{n} = \pm 0,26\sqrt{n} \text{ мм}$$

При относительно длинном ходе на строительной площадке, достигающем 0,5 или 1,0 км, и при расстояниях от нивелира до рейки в 25 м допустимая предельная невязка будет:

$$M = \pm 0,26\sqrt{10} = \pm 0,8 \text{ мм для } 0,5 \text{ км}$$

$$M = \pm 0,26\sqrt{20} = \pm 1,2 \text{ мм для } 1,0 \text{ км}$$

Так как осадка наблюдаемых марок практически определяется как разность двух превышений или отметок в двух циклах, то предельная ошибка осадки марки, находящейся на середине замкнутого хода, будет:

– в однокилометровом ходе

$$M_{\text{BI}} = \pm 0,8\sqrt{2} = \pm 1,1 \text{ мм}$$

– в двухкилометровом ходе

$$M_{\text{BI}} = \pm 1,2\sqrt{2} = \pm 1,7 \text{ мм}$$

Таким образом, зная величины ошибок нивелирования, можно заранее рассчитать, какое количество станций должно быть в нивелирном ходе, чтобы предельная ошибка измерений осадок различных точек сооружения не превышала ± 1 мм.

Научное издание

Хаметов Тагир Ишмуратович

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ
ЗДАНИЯ И ЕГО КОНСТРУКЦИЙ

Монография

В авторской редакции
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 03.08.2015. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 7,2. Уч.-изд.л. 7,75. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.

Заказ № 299.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.