

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего и профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Г.А.Шеховцов, Р.П.Шеховцова

**СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

Монография

Нижегород – 2009

УДК 528.482:69.058.2

Шеховцов Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений [Текст]: монография; / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т –Н.Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.

Монография написана в соответствии с действующими СНиП, другими нормативными и руководящими документами РД, методическими указаниями по производству различного вида геодезических работ, справочниками и справочными руководствами. Она является результатом переработки выпущенных ранее (Шеховцов Г.А. Методические указания по производству специальных геодезических работ на промышленном предприятии. – Н.Новгород: Нижегород. гос.архит.-строит.ун-т, 2002. – 36 с.).

Рассмотрены геодезические методы выполняемых периодически (или по мере необходимости) специальных работ по определению деформаций инженерных сооружений. Использование для этих целей высокоточных геодезических измерений позволяет решать как научные задачи (обоснование теоретических расчетов устойчивости сооружений), так и производственно-технические, обеспечивающие нормальную эксплуатацию сооружений и оборудования и принятие профилактических мер при выявлении недопустимых величин деформаций.

Приводится методика определения: осадок фундаментов, скорости протекания осадки, крена, прогиба и прогнозирования времени стабилизации сооружений. Описан створный метод и метод триангуляции для определения горизонтальных смещений сооружений. Изложены способы определения крена высоких сооружений: по разности отметок осадочных марок; вертикальным проектированием; путем определения координат; измерением углов или направлений; боковым нивелированием; приборами вертикального проектирования. Показаны способы съемки подземных коммуникаций, имеющих и не имеющих выводы. Рассмотрены фотограмметрический и стереофотограмметрический методы наблюдений за осадками и смещениями сооружений. Описаны способы наблюдения за трещинами несущих конструкций путем простейших измерений, а также с применением различных маяков, деформометров, щелемеров, отсчетного микроскопа. Изложены методы определения планово-высотного положения рельсов при геодезической съемке путей мостовых кранов. Особое внимание уделено новым способам определения деформаций с использованием лазерных рулеток, электронных тахеометров и цифровых камер, совместимых с компьютером, спутниковых приемников.

Монография рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся наблюдениями за осадками фундаментов, деформациями конструкций зданий, сооружений и оборудования и может быть полезна студентам технических вузов.

Табл. 4, ил. 114, библиограф. назв. 66.

© Шеховцов Г.А., 2009

© Шеховцова Р.П., 2009

© ННГАСУ, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Здания и сооружения, вследствие их конструктивных особенностей и постоянного влияния техногенных и природных факторов, могут претерпевать различного вида деформации. Деформациями называют изменения в пространственном положении зданий и сооружений. Перемещение таких объектов или их частей вниз называется осадкой, вверх – подъемом или выпиранием (выпучиванием), в сторону – горизонтальным смещением или сдвигом.

Осадка зданий и сооружений бывает равномерная, которая со временем затухает и прекращается. Неравномерная осадка вызывает крены, прогибы, перекосы, кручения, разрывы объекта. Смещение (сдвиг) сооружений в горизонтальной плоскости возникает от бокового давления воды, ветра, грунта и др. Высокие сооружения могут испытывать крен, изгиб, кручение под действием осадки, одностороннего солнечного нагрева, ветровой нагрузки. Цель геодезических наблюдений – получить численные данные, характеризующие абсолютные величины осадок и деформаций для осуществления мероприятий по предотвращению возможных разрушений. Различают систематические, срочные и специальные наблюдения. Систематические наблюдения проводятся по заранее установленному календарному плану. Если имеет место резкое изменение обычного хода деформации, то выполняют срочные наблюдения. Специальные наблюдения применяются для выявления причин возникновения деформаций.

Наблюдениям предшествует составление специального проекта, который в общем случае содержит: техническое задание, общие сведения о сооружении, схему расположения опорных геодезических пунктов и деформационных марок, методику наблюдений, расчет точности измерений, календарный план наблюдений, состав исполнителей, объем работ и смету.

Одним из основных моментов проекта наблюдений за деформациями сооружений является правильный выбор конструкции и мест размещения геодезических знаков, которые делятся на опорные, вспомогательные и деформационные (плановые, высотные и планово-высотные). Опорные знаки являются основой для определения положения деформационных знаков. Их закрепляют с условием стабильности и длительной сохранности. Вспомогательные знаки служат для однообразной (от цикла к циклу) передачи координат и высот от опорных знаков к деформационным. Деформационные знаки закрепляют непосредственно на исследуемом сооружении.

Важным вопросом является установление необходимой точности геодезических измерений. Как правило, точность измерений указывается в соответствующих нормативных документах в виде средней квадратической ошибки СКО. Так, например, согласно ГОСТ 24846-81 допустимые ошибки определения осадок не должны превышать следующих значений:

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

2 мм – для зданий и сооружений на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

5 мм – для зданий и сооружений на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;

Измерение горизонтальных смещений (сдвигов) частей зданий и сооружений требуется выполнять с СКО не более:

1 мм – для зданий и сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

3 мм – для зданий и сооружений на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

10 мм – для зданий и сооружений на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;

15 мм – для земляных сооружений.

Измерение кренов зданий и сооружений должно производиться с СКО, не превышающими:

0,0001 высоты стен гражданских и производственных зданий и сооружений;

0,0005 высоты труб, мачт сооружений связи и ЛЭП и других подобных сооружений [3].

В особых случаях требования к точности геодезических измерений могут быть получены путем специальных расчетов. Практически все исследования отечественных и зарубежных ученых, связанные с нормированием точности геодезических работ, направлены на обоснование корректного перехода от допусков СНиП к СКО геодезических измерений. Наиболее часто точность геодезических измерений устанавливается путем введения понижающих коэффициентов на такие допуски. По данным *Б.Н.Жукова (Нормирование точности геодезических измерений при возведении сооружений, монтаже оборудования и контроле за их состоянием // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1983, – №4. – С. 28–35)*, эти коэффициенты могут находиться в пределах 0,2-0,7.

СНиП 3.01.03-84, исходя из предельно допустимого отклонения геометрических параметров d , рекомендует выполнять измерения с СКО равной $d:5$, а в работе *В.Н.Ганьшина (Зависимость точности измерений от функциональных допусков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1980, – №4. – С. 36–37)* предлагается принимать СКО, характеризуемую величиной $d:6$. Такой подход не учитывает фактического $d_{ф}$ значения отклонений геометрических параметров от их номинального значения. Вследствие этого, при фактическом отклонении, равном нулю и равном d , требуется одинаковая точность измерений, что, по мнению ряда авторов, нецелесообразно.

Авторами статьи (*Грузин Н.Е., Мисковец В.К. О необходимой точности измерения деформаций строительных конструкций. «Инж. геод.», – 1981, – №24, – С.42–44*) рекомендуется, при исследовании деформаций строительных конструкций, принимать точность геодезических измерений совпадающей с требуемой точностью разбивочных работ при возведении этих конструкций.

В работе [9] рекомендуется для многих практических задач принимать СКО не более $0,2d_\phi$, где в качестве d_ϕ фигурирует величина деформации между циклами измерений. Но, во-первых, эта величина деформации до начала измерений неизвестна, а, во-вторых, она может равняться нулю, поэтому возникает вопрос, что принимать в качестве СКО.

Вообще говоря, подобные подходы не согласуются с доверительной оценкой точности, которую на практике записывают в виде символического равенства:

$$l_\phi = l_{изм} \pm tm, \quad (1)$$

где l_ϕ – величина некоторого параметра, измеренное значение которого $l_{изм}$; t – нормированный множитель, соответствующий определенному значению доверительной вероятности (изменяется от 1,65 до 3,0); m – СКО измерения параметра.

Поэтому нами в 1973 году (*Шеховцов Г.А. О точности геодезических наблюдений за осадками сооружений // Промышленное строительство. – 1973, – № 10. – С. 46*) была разработана концепция перехода от допусков СНиП d к допускам на контрольные геодезические измерения d_ϕ , с последующим определением необходимой СКО. В дальнейшем развитие этой концепции отражено в наших работах (*Шеховцов Г.А. О точности геодезических наблюдений за деформациями сооружений // «Геодезия, картография и аэрофотосъемка». – 1975, вып. 22. – С. 88–93; Шеховцов Г.А. О необходимой точности геодезических наблюдений за деформациями сооружений // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1976. – № 1. – С. 25–30*). Сущность концепции заключается в том, что в каждом конкретном случае необходимо исходить из критического значения определяемого параметра, который в результате измерений требуется фиксировать с заданной степенью достоверности.

В практике геодезических работ исторически сложилось так, что за допустимую ошибку измерения какой-либо величины принимается tm . Если значение определяемой величины равно или больше tm , то вероятность её определения будет не ниже вероятности, соответствующей заданному значению t . Поэтому, в качестве критического значения определяемого параметра следует принимать tm , который должен равняться d_ϕ – допуску на геодезические измерения рассматриваемого параметра. В качестве последнего может фигурировать величина $0,4d$, в достаточной степени теоретически обоснованная в работе (*Хохлов Г.П. Методология расчета и оценки точности геодезических измерений с учетом ограничения ошибок контроля параметров возводимых объектов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт.техн.наук. МГУГиК. – М., –1994. – 40 с*). Исходя из равенства $tm = d_\phi = 0,4d$, имеем СКО:

$$m = \frac{0,4d}{t}. \quad (2)$$

Предложенная нами формула (2) является универсальной, поскольку позволяет осуществлять корректный переход от допусков СНиП к СКО геодезических измерений, с учетом степени доверительной оценкой точности. В дальнейшем подобный подход нашел свое подтверждение в [3, стр.394-397]. Кроме того в работах [4], (*Скейвалас И.М. Взаимосвязь допусков и точности измерений // Геод. и картогр. – 1990. – №8. – С. 8–10.*) и ряде других отмечается, что в практике назначения допусков на ошибки функций от измеренных величин по формуле $d = tm$ параметр t следует выбирать не только в зависимости от имеющихся приборов, точности выполнения работ и ее методики, но и из экономических соображений и важности работ.

Следует сказать, что в геодезии традиционно все измерения делят на две группы. Первая группа включает «прямые» (еще их называют «непосредственные») измерения, при которых результат получается непосредственно из измерения самой величины. Измерения второй группы называют «косвенными», основанными на известных зависимостях между искомой величиной и непосредственно измеряемыми величинами. В результате косвенных измерений получают вычисленное значение искомой величины.

Ряд авторов приводит в качестве примера косвенных измерений таковые, выполненные с помощью различного вида дальномеров. По этому поводу профессор А. И. Мазмишвили в своей работе (*Теория ошибок и метод наименьших квадратов – М.: Недра. – 1978.*) писал, что «С точки зрения математической обработки результатов измерений определение расстояния по дальномеру – действие в таком же смысле непосредственное, как и определение расстояния обыкновенной рулеткой...».

Что касается термина «дистанционные» измерения, то в учебнике (*Федотов Г. А. Инженерная геодезия – М.: Высш. шк. – 2002.*) сказано, что они «основываются на использовании ряда физических процессов и явлений и, как правило, связаны с использованием современных технических средств: светодальномеров, электронных тахеометров, фототеодолитов и т. д.». Такая формулировка больше подходит к описанию принципа действия указанных приборов. Под «дистанционными» измерениями, согласно (*БСЭ, т.8, 1972, стр. 314*), следует понимать «измерение физических величин на расстоянии». Эти измерения применяют в случаях, когда трудно или невозможно измерять с помощью приборов, установленных в непосредственной близости от точки замера.

Таким образом, при исследовании пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений могут применяться прямые и косвенные виды геодезических измерений, в которых измеряемые величины могут быть получены непосредственно или дистанционно [42].

Геодезическая съёмка строительных конструкций, определяющих устойчивость промышленного объекта, выполняется в соответствии с требованиями соответствующих нормативных и руководящих документов [19,20,21,22]. Ре-

зультаты съёмки оформляются в виде заключения экспертизы промышленной безопасности, которое утверждается руководителем экспертной организации.

Заключение должно содержать:

1. Техническое задание, в котором указывается наименование заказчика и исполнителя, научный руководитель темы, классификация работ и сроки их выполнения, наличие технической документации на объект, сроки и вид последнего обследования объекта, сроки и условия эксплуатации объекта, задание на производство геодезической съёмки строительных конструкций.

2. Программа выполнения работ, содержащая цель работы и её состав, включающий анализ имеющейся технической документации, рассмотрение фактических условий производства геодезической съёмки строительных конструкций, перечень работ по проверке состояния конструкций, составление заключения, выдача рекомендаций, порядок работ исполнителя по объекту, специальные мероприятия, сроки выполнения работы.

3. Вводная часть, в которой указываются основания для проведения экспертизы, сведения об экспертной организации, сведения об экспертах, наличие лицензий.

4. Перечень объектов экспертизы, данные о заказчике, цель экспертизы, сведения о рассмотренных технических документах, характеристика и назначение объекта экспертизы.

5. Результаты проведенной экспертизы.

6. Заключительная часть, содержащая выводы, рекомендации, заключение, список использованных источников.

7. Приложения.

Результаты геодезического контроля используются для заключения экспертизы промышленной безопасности о несущих способностях строительных конструкций, их устойчивости или при разработке мероприятий по обеспечению этой устойчивости. В книге рассмотрены основные способы геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений. Детально изложена сущность разработанных авторами монографии новых способов такого контроля.

Глава 1. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ СООРУЖЕНИЙ

1. Организация наблюдений за осадками

Осадки зданий и сооружений можно определять геометрическим или тригонометрическим нивелированием, гидронивелированием, микронивелированием, а также фото- и стереофотограмметрическими способами. Наибольшее распространение на практике получил способ геометрического нивелирования путем периодического высокоточного нивелирования осадочных марок $1, 2, 3, \dots, 20$ (рис.1).

В качестве опорных знаков (высотной основы) служат глубинные реперы *Гл.Рр.* Их закладывают в коренных породах в количестве не менее трех, для того, чтобы в дальнейшем можно было контролировать стабильность их положения по постоянству превышений между ними во времени.

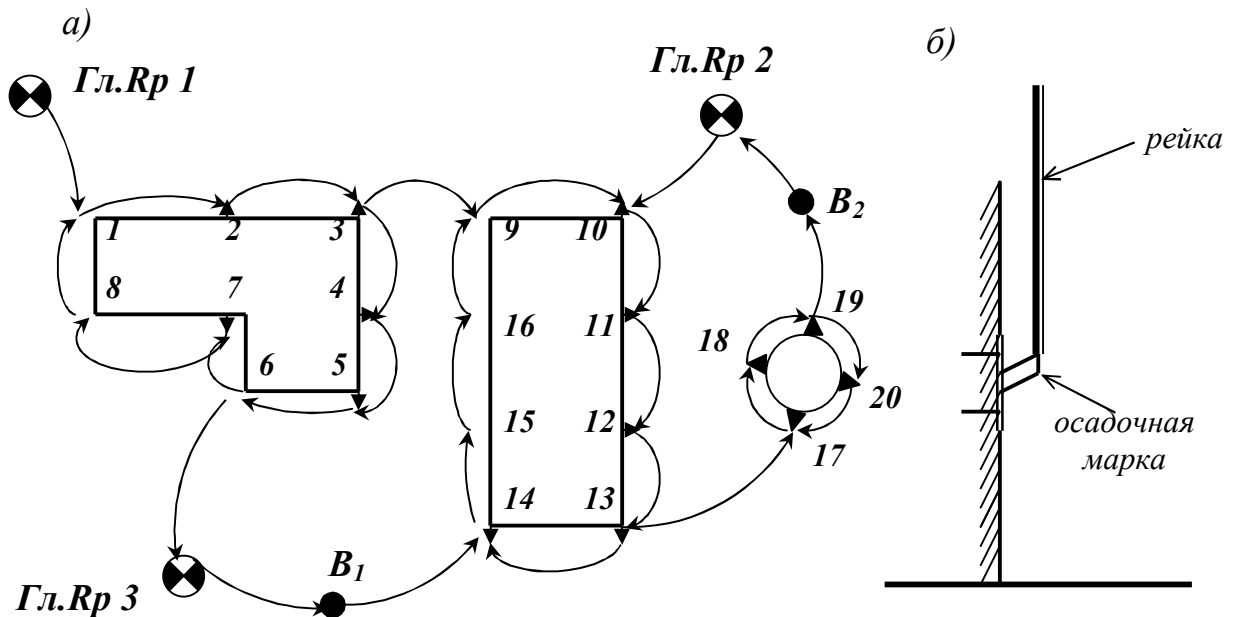


Рис.1. Схема расположения осадочных марок, нивелирных ходов (а) и конструкция марки (б)

Для промышленных зданий и сооружений деформационные знаки (осадочные марки) закрепляют на несущих колоннах как извне, так и внутри цеха через 6 – 12 или 12 – 24 м. Марки размещают по поперечным и продольным осям не менее трех в каждом направлении. На дымовых трубах устанавливается не менее четырех марок по периметру. Головка осадочной марки должна быть удалена от плоскости стены или колонны не менее чем на 3 – 4 см. При закладке осадочных марок необходимо учитывать условия доступа к ним и возможность установки на них нивелирной рейки. Наиболее простой и надежной конструкцией марки может служить металлический “уголок”, заделанный

под некоторым углом в стену или приваренный к металлической колонне или пластине, пристрелянной к стене. Такая конструкция обеспечивает однозначное положение нивелирной рейки на осадочной марке (рис. 1, б).

При большом расстоянии, например, от *Гл.Рр 3* до осадочной марки *14* или от *Гл.Рр 2* до осадочной марки *19* (рис. 1), закрепляют вспомогательные знаки B_1, B_2, \dots, B_n .

Наблюдения за осадками производятся периодически (циклами) один раз в квартал, один раз в полгода, один раз в год и т.д. до достижения стабилизации осадок, то есть когда их скорость составит 1–2 мм в год.

2. Нивелирование

Нивелирование глубинных реперов и осадочных марок производится высокоточными нивелирами типа *H-05* (и подобными им по точности) с применением штриховых реек с инварной полосой.

Принципиальная схема высокоточного оптического нивелира *H-05* аналогична схеме нивелира *H-3*. Отличительной особенностью является оптический микрометр, позволяющий производить отсчеты по специальной рейке с высокой точностью (рис. 2).

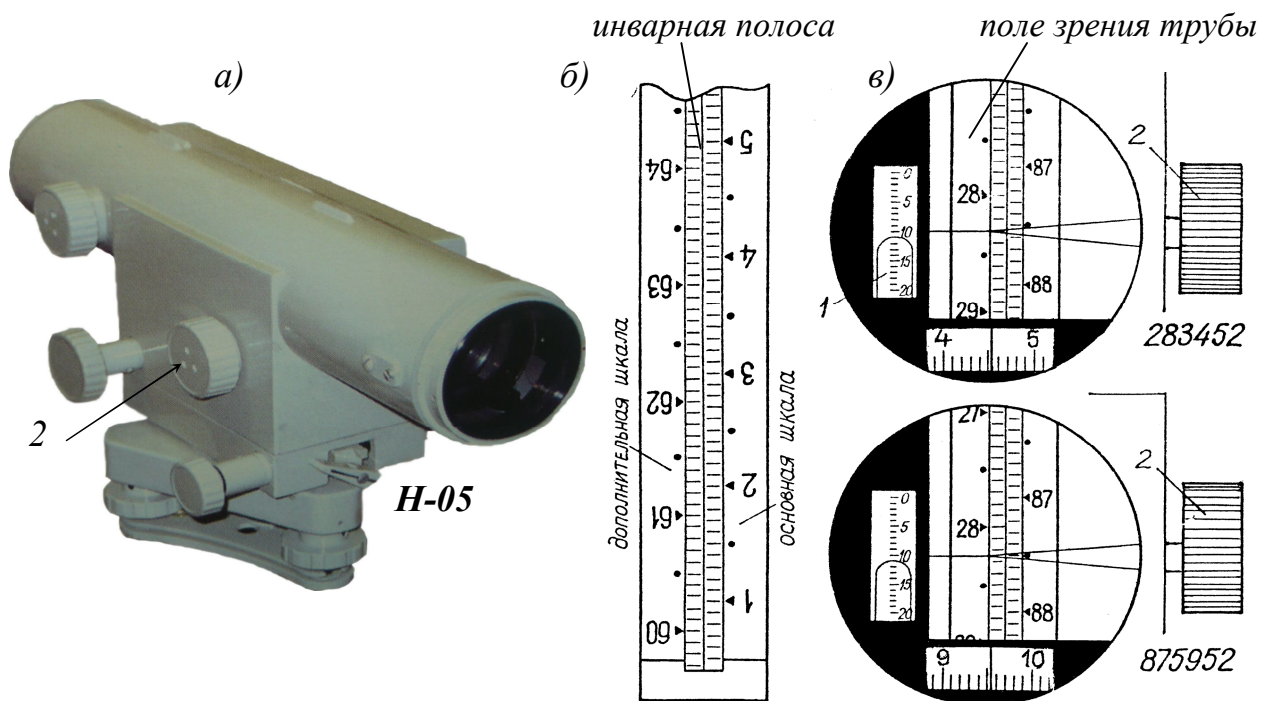


Рис. 2. Высокоточный оптический нивелир *H-05* (а), штриховая инварная рейка (б) и поле зрения трубы нивелира (в)

На штриховой рейке смонтирована инварная полоса (инвар – сплав железа с никелем), на которой через 5 мм нанесены штрихи основной и дополни-

тельной шкал. Штрихи основной шкалы подписаны от 0 до 60. Штрихи дополнительной шкалы смещены относительно основной на 2,5 мм и подписаны от 60 до 119.

Нивелир **H-05** приводится в рабочее положение так же, как и нивелир **H-3**. Визируют на инварную рейку и элевационным винтом приводят пузырек цилиндрического уровня *1* в контакт. Затем вращением барабанчика *2* микрометра совмещают изображение средней горизонтальной нити сетки с ближайшим к ней делением основной шкалы. Для точного совмещения одна половина этой нити выполнена в виде биссектора.

Отсчет складывается из отсчета по шкале рейки (283000) и отсчета по шкале микрометра (452). Аналогичным образом берут отсчет по дополнительной шкале рейки, совместив барабанчиком *2* изображение средней нити с ближайшим делением этой шкалы. В нашем примере отсчет по основной шкале равен 283452, отсчет по дополнительной шкале 875952. Разность между отсчетами всегда должна равняться постоянному числу 592500.

Для того, чтобы полученные отсчеты выразить в миллиметрах, необходимо умножить их на 0,05 мм – цену деления барабана микрометра. Так, отсчет 283452 соответствует 1417,26 мм. Точность отсчитывания с помощью микрометра не ниже 0,05 мм.

Аналогами нивелира **H-05** служат, например, высокоточный оптический нивелир **PL1**, а также высокоточные нивелиры **B1**, **B1C** с микрометрической насадкой **OM1**, для работы с которыми используется инварная рейка с сантиметровыми делениями (рис. 3).



Рис. 3. Высокоточные оптические нивелиры **PL1**, **B1**, **B1C**

Основные нивелирные ходы между глубинными реперами прокладываются замкнутые при двух горизонтах инструмента. Расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 30 м, а неравенство «плеч» допускается не более 0,3 м. Высотные невязки в ходах не должны превышать величины $(0,3-0,5)\text{мм}\sqrt{n}$, где n – число станций в ходе.

Следует сказать, что заложенные в период строительства сооружения некоторые осадочные марки в дальнейшем могут быть закрыты или недоступны для установки на них нивелирной рейки. В этом случае удобно использовать стальную автоматически сматывающуюся в коробчатый футляр желобчатую рулетку с миллиметровыми делениями (Шеховцов Г.А., Новиков В.М. *Магнитный фиксатор для геодезических измерений // Н.Новгород, 1995. Нижегородский ЦНТИ, информ. листок №336-95*). У такой рулетки нулевое деление совпадает с Г-образным окончанием, играющим роль упора или зацепа.

Устанавливают Г-образный упор с закрепленным на нём магнитом на осадочную марку (рис. 4, а). Сцепление упора с маркой позволяет осуществлять натяжение рулетки, приведение её в отвесное положение и, при необходимости, подсветку ее шкалы, по которой берут отсчеты с точностью 0,1 мм.

В том случае, когда осадочные марки расположены достаточно высоко (рис. 4, б), используют рулетку в подвешенном состоянии.

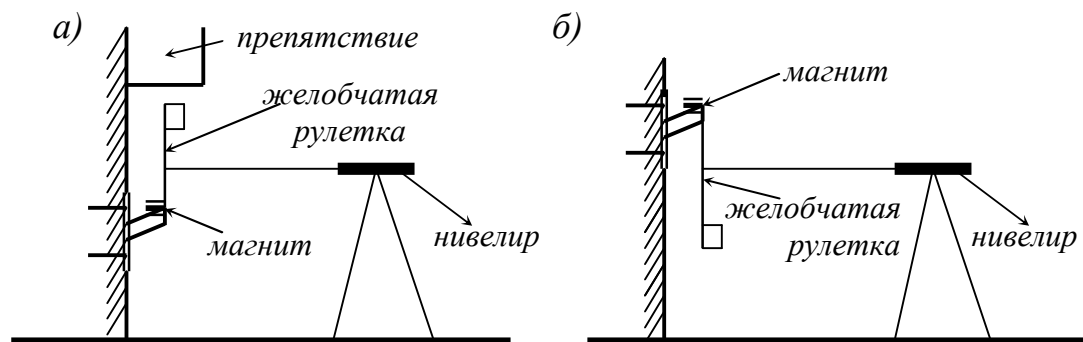


Рис. 4. Схема нивелирования с помощью желобчатой рулетки

Для наблюдения за осадками могут быть применены электронные (цифровые) нивелиры со специальными штрих-кодовыми рейками, для кодирования которых используются RAB и BAR коды. Отличительной особенностью таких приборов является автоматическое считывание отсчета по рейке, измерение горизонтального расстояния до неё, вычисление превышения между нивелируемыми точками. Эти значения высвечиваются последовательно на дисплее нивелира. Некоторые цифровые нивелиры позволяют в полевых условиях производить обработку и уравнивание нивелирных ходов. Однако необходимо напомнить, что цифровые нивелиры (как и все нивелиры с компенсаторами) подвержены влиянию вибрации, а также воздействию сильных электромагнитных полей при работе вблизи ЛЭП, открытых распределительных устройств (ОРУ), трансформаторов, токопроводящих шин и т.п., что может привести к повреждению их электроники.

Из современных цифровых нивелиров назовём, например, приборы серии SDL и DiNi (рис. 5).

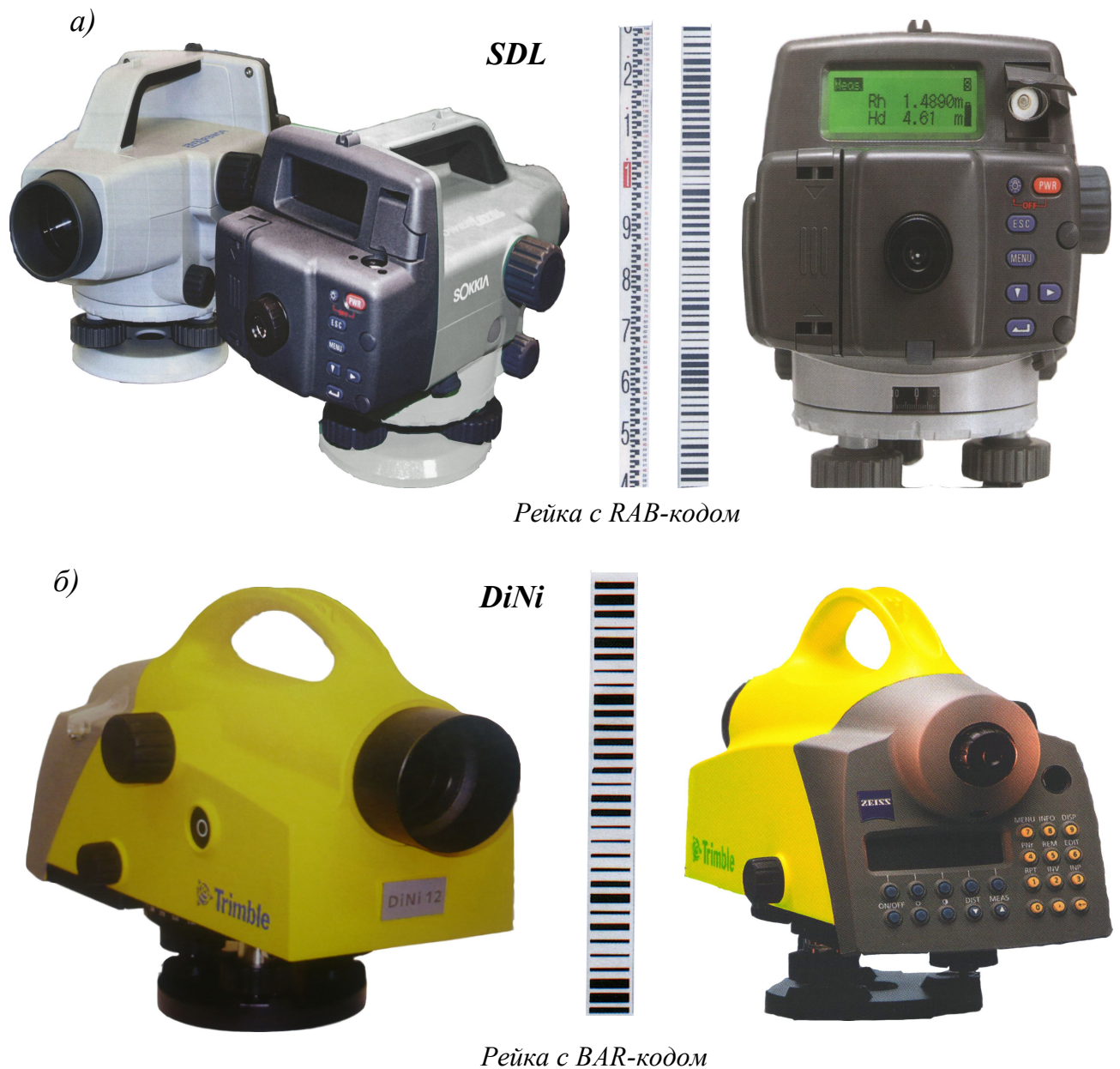


Рис. 5. Цифровые нивелиры серии **SDL** (а) и **DiNi** (б)

Для работы с нивелирами SDL 30/50 используются фиброглассовые, алюминиевые или инварные рейки со специальным RAB-кодом, а для работы с нивелирами DiNi 0,3/0,7 применяются рейки инварные, складные или телескопические со специальным BAR-кодом. При отключенной электронике цифровые нивелиры можно использовать с обычными нивелирными рейками.

Высокоточное геометрическое нивелирование практически полностью решает вопрос определения осадок зданий и сооружений. Однако в стесненных условиях подвальных, цеховых и других помещений возможность геометриче-

ского нивелирования может быть весьма ограничена. Здесь для определения превышений между осадочными марками могут применяться переносные гидростатические приборы типа шланговых нивелиров. При эксплуатации же таких сооружений, как плотины, ускорители заряженных частиц, атомные и тепловые электростанции и другие подобные объекты, необходим непрерывный геодезический контроль за их осадками и деформациями. Для этих целей разработаны различные стационарные гидростатические и гидродинамические системы с визуальным сбором информации. А на сооружениях, где пребывание человека нежелательно или вообще исключается, разработаны гидросистемы с дистанционным получением информации о высотных перемещениях осадочных марок. В качестве примера можно привести следующие работы. В одной из них (Мовсесян Р.А., Таплашвили И.А. *Новые приборы и методы для автоматизации измерений осадок сооружений. «Пробл. Астрон. и геод. Тр. 6-го Съезда Всес. Астрон.-геод. о-ва, Ереван, 1975. Геод.»*, – М., – 1979, – С. 88, – 89) описаны гидростатические системы типа СГН-27Д и СГН-ВИ с диапазонами измерений ± 4 мм и 10-12 мм и ошибками определения превышений 0,2 мм и гидродинамические системы СГД, в которых используется непрерывно движущаяся жидкость. В другой работе (Thierbach H. *Automatische Hohenuberwachung von Turbinenfundamenten in Groskraftwerken. "Allg. Vermess. –Nachr."*, – 1981, 88, – №2, 51–58) излагается методика применения разработанной автором прецизионной автоматической системы ELWAAG/ELMETER гидростатического нивелирования при наблюдениях за деформациями фундаментов турбоагрегатов большой мощности. Описываются устройство приборов, размещение датчиков стационарной системы, способы обработки и представления результатов наблюдений. В работе (Уставич Г.А., Олейник А.М., Шалыгина Е.Л. *Разработка многоуровневой двойной гидродинамической системы. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 40–53*) приведено теоретическое обоснование двойной гидродинамической системы, а также многоуровневой двойной гидродинамической системы, которая позволяет выполнять измерения превышений на нескольких горизонтах одной измерительной головкой.

Однако применение гидросистем связано со значительными организационными и технологическими трудностями, поэтому случаи их использования единичны.

Другие краткие сведения о классических методах определения осадок и горизонтальных смещений с применением геометрического, гидростатического и тригонометрического нивелирования можно прочесть, например, в работе [62].

3. Обработка результатов нивелирования

Из наблюдений каждого цикла вычисляют отметки осадочных марок, по которым вычисляют абсолютную осадку, скорость протекания осадки, крен сооружения, прогиб сооружения и вычерчивают графики осадок.

Абсолютная осадка S_i отдельной марки определяется по формуле

$$S_i = H_i - H_1, \quad (3)$$

где H_i и H_1 – отметки марки в i -ом и первом циклах.

Скорость протекания осадки вычисляют по формуле

$$v = \frac{S_{cp}}{T}, \quad (4)$$

где S_{cp} – средняя осадка сооружения за период наблюдения T . Если $v = 1-2$ мм/год, то считают, что положение сооружения стабилизировалось.

Крен сооружения возникает от неравномерности осадок фундамента, в результате чего сооружение наклоняется в одну сторону:

$$K = \frac{\Delta}{l}, \quad (5)$$

где Δ – разность осадок крайних марок по оси сооружения, l – расстояние между этими марками.

Прогиб сооружения возникает в результате неравномерности осадок фундамента, отчего сооружение изгибается выпуклостью вниз или вверх:

$$f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2l}, \quad (6)$$

где S_1 и S_3 – осадки крайних марок рассматриваемого участка прямой линии; S_2 – осадка средней марки участка; l – расстояние между крайними марками.

Графики осадок марок строят по результатам наблюдений в каждом цикле (рис. 6). По этим графикам можно судить, например, о примерном времени стабилизации сооружения.

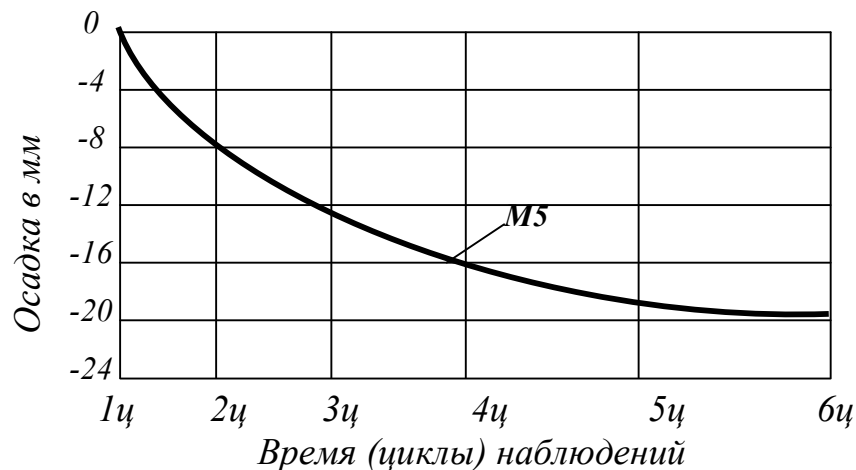


Рис. 6. График осадок марки **М5** во времени

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ

Крупные сооружения (особенно такие как дамбы, плотины) под воздействием односторонних нагрузок могут претерпевать горизонтальные смещения. Для определения этих смещений применяют, в основном, створный и тригонометрический методы наблюдений. Из других методов можно отметить метод измерения горизонтальных углов на контролируемых пунктах; совместное измерение горизонтальных углов с конечных пунктов створа и таковых на контролируемых пунктах; метод полигонометрии; применение непрерывных GPS-наблюдений.

1. Створный метод

Этот метод (рис. 7) применяют для наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений прямолинейной формы по направлению, перпендикулярному створу. Для этого закрепляют на одной линии геодезические пункты P_1 и P_2 и контрольные точки. Смещения контрольных точек в направлении, перпендикулярном линии P_1P_2 определяют путем измерения теодолитом малых углов ε на каждую точку. Тогда линейная величина смещения q будет равна:

$$q = d \frac{\varepsilon''}{\rho''}, \quad \rho'' = 206265'' \quad (7)$$

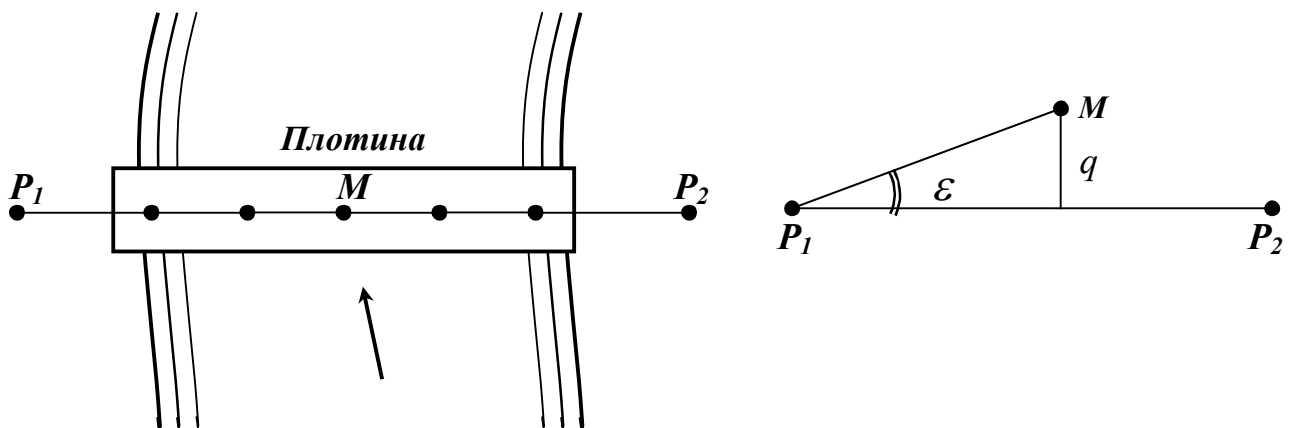


Рис. 7. Створный метод определения горизонтальных смещений

Другой способ створного метода (рис. 8) заключается в том, что на контрольную точку M устанавливают визирную цель, положение которой фиксируется отсчетом по шкале. Установив теодолит, например, в точке P_1 , ориентируют визирную ось зрительной трубы по линии P_1P_2 и микрометренным винтом визирной цели совмещают её с перекрестием сетки нитей. По разности отсчетов по шкале визирной цели судят о смещении контрольной точки M отно-

сительно линии P_1P_2 . Аналогичным образом определяют горизонтальные смещения других контрольных точек.

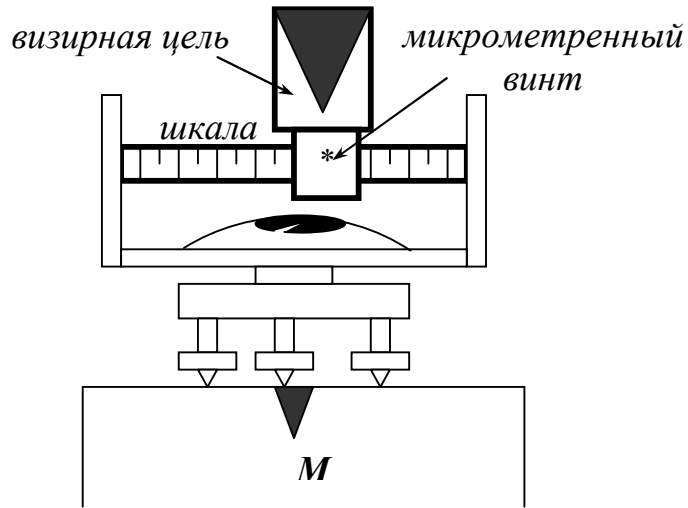


Рис. 8. Определение горизонтальных смещений с помощью визирной цели

Рассмотренные способы носят название способа общего створа. Для створов значительной протяженности и с большим количеством контрольных точек могут применяться способы последовательных и частных створов [12].

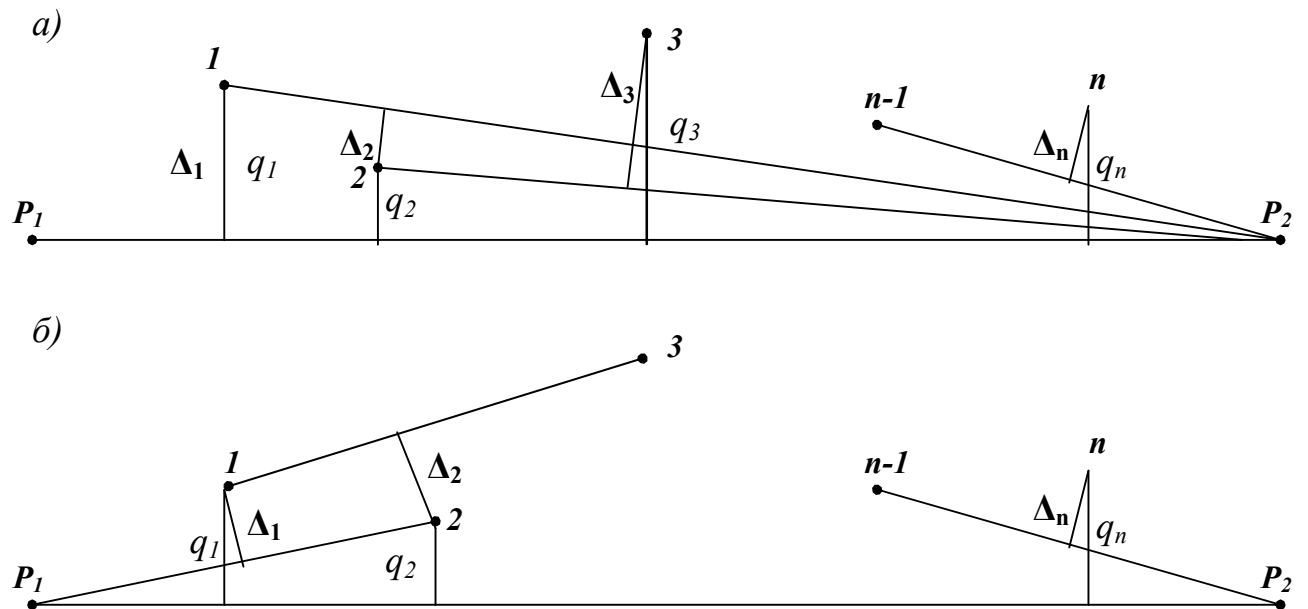


Рис. 9. Схемы определения горизонтальных смещений способом последовательных (а) и частных (б) створов

В способе последовательных створов (рис. 9, а) предусматривается определение нестворностей $\Delta_1 = q_1$ точки 1 от створа P_1P_2 , Δ_2 точки 2 от створа $1P_2$, Δ_3 точки 3 от створа $2P_2$ и т.д. В этом случае нестворность q_i любой i -й точ-

ки относительно общего створа P_1P_2 может быть вычислена, зная расстояния S между всеми точками, по следующей формуле

$$q_i = q_{i-1} \frac{S_{i-P_2}}{S_{(i-1)-P_2}} + \Delta_i . \quad (8)$$

В схеме частных створов (рис.9, б) нестворность Δ_1 точки 1 определяется от створа $1-2$, Δ_2 точки 2 от створа $1-3$, Δ_3 точки 3 от створа $2-4$ и т.д. В этом случае нестворность q_i любой i -й точки относительно общего створа P_1P_2 может быть вычислена по формуле

$$q_i = q_{i-1} \frac{S_{i-(i+1)}}{S_{(i-1)-(i+1)}} + q_{i+1} \frac{S_{(i-1)-i}}{S_{(i-1)-(i+1)}} + \Delta_i , \quad (9)$$

причем в этих формулах необходимо учитывать знак Δ . Так, для направления створа P_1P_2 , при отклонении точек влево, Δ имеет знак «плюс», вправо – знак «минус» и наоборот при направлении створа P_2P_1 .

Величину нестворности q_i промежуточных точек $1, 2, 3, 4, \dots$ протяженных створов P_1P_2 (рис. 10) можно также определять так называемым способом биполярной угловой засечки (Баран П.И. *К разработке протяженного створа способом биполярной засечки // Инж. геод., –1979, вып. 22. – С. 80–82*).

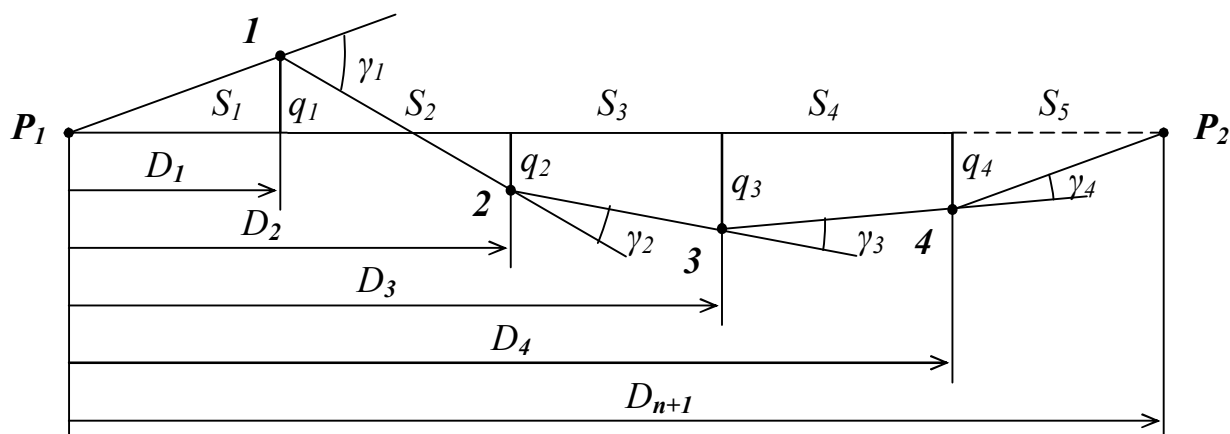


Рис. 10. Схема определения нестворности точек биполярной засечкой

Способ заключается в определении углов нестворности $\gamma_i = \beta_i - 180^0$, где левый угол β_i в промежуточной точке i измеряют с помощью точного теодолита, визируя на смежные точки. Тогда, для примера на рис. 8, смещения q_i каждой промежуточной точки могут быть вычислены по формулам

$$q_1 = \frac{S_2}{D_2} \left(D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + \frac{D_1 q_2}{S_2} \right),$$

$$q_2 = \frac{S_3}{D_3} \left(D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + \frac{D_2 q_3}{S_3} \right), \quad (10)$$

$$q_3 = \frac{S_4}{D_4} \left(D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + \frac{D_3 q_4}{S_4} \right),$$

$$q_4 = \frac{S_5}{D_5} \left(D_4 \frac{\gamma_4}{\rho} + D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} \right).$$

По знаку q_i судят о направлении смещения точки со створа P_1P_2 : плюс – влево, минус – вправо.

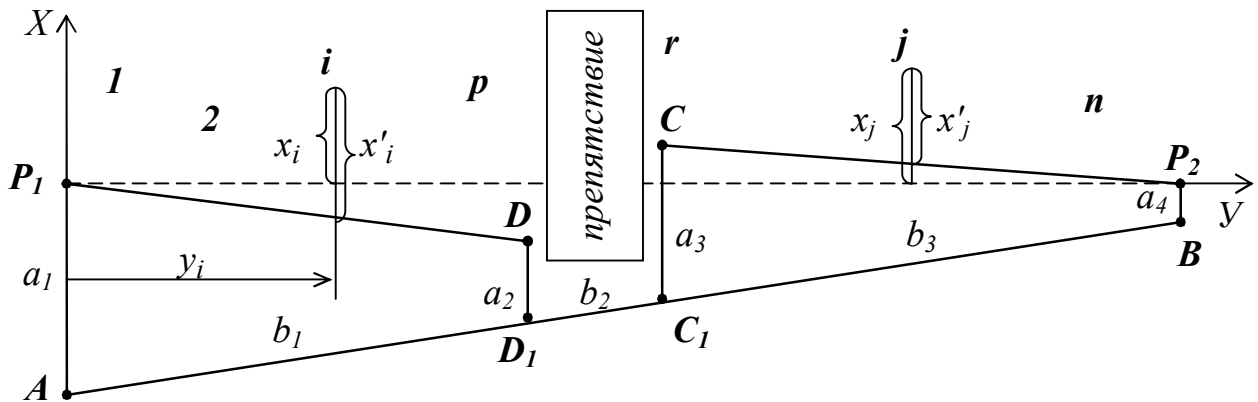


Рис. 11. Схема к восстановлению непересматриваемого створа

На практике может возникнуть задача восстановления непересматриваемого из-за появившегося препятствия створа P_1P_2 (рис. 11) с целью приведения результатов периодических измерений к единой системе отсчетов. Для этого можно воспользоваться предложенным в работе (Фархан Диб. Восстановление направления непересматриваемого створа // Геод. и картогр. – 1991. – № 10. – С. 15–16) способом, сущность которого заключается в построении вспомогательного створа AB , примерно параллельного перекрытому створу P_1P_2 . От нового створа измеряют расстояния a_1, a_2, a_3, a_4 до крайних точек створа P_1 и P_2 и двух вспомогательных точек D и C , расположенных по обе стороны препятствия и находящихся примерно по направлению перекрытого створа. От линий AD и BC измеряют абсциссы x'_i и x'_j ($i = 1, p; j = r, n$) до контролируемых точек. Также измеряют ординаты этих точек $y_1, \dots, y_i, \dots, y_j, \dots, y_n$ от точки P_1 и расстояния b_1, b_2 и b_3 , сумма которых равна L .

По результатам измерений вычисляют расстояния x_i и x_j от перекрытого створа до контролируемых точек по формулам

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x'_1 - y_1(k_1 a_1 + k_2 a_2 + k_4 a_4), \\
 \dots & \\
 x_i &= x'_i - y_i(k_1 a_1 + k_2 a_2 + k_4 a_4), \\
 \dots & \\
 x_j &= x'_j - y_j(u_1 a_1 + u_3 a_3 + u_4 a_4), \\
 \dots & \\
 x_n &= x'_n - y_n(u_1 a_1 + u_3 a_3 + u_4 a_4),
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

в которых $k_1 = \frac{b_2 + b_3}{b_1 L}$, $k_2 = \frac{-1}{b_1}$, $k_4 = \frac{1}{L}$; $u_1 = \frac{-1}{L}$, $u_3 = \frac{1}{b_3}$, $u_4 = \frac{-(b_1 + b_2)}{b_3 L}$.

Таким образом, произведя соответствующие измерения относительно произвольных створов P_1D и CP_2 , можно перейти к единой системе отсчетов относительно фиксированного створа P_1P_2 .

В работе [59] приведены результаты исследования точности различных методов створных измерений. Исследования выполнены на створе длиной 700 м, на котором было заложено 13 пунктов, расстояния между которыми перед началом исследований были измерены с точностью 0,1 мм. Исследования выполняли по пяти программам: 1) методом подвижной марки; 2) методом измерения малых углов с конечных пунктов створа; 3) методом измерения углов на контролируемых пунктах; 4) объединением 2 и 3 вариантов; 5) методом полигонометрии. Исследования показали, что наивысшая точность определения нестворностей (0,4 мм) получается при выполнении измерений по 4 программе.

2. Метод триангуляции

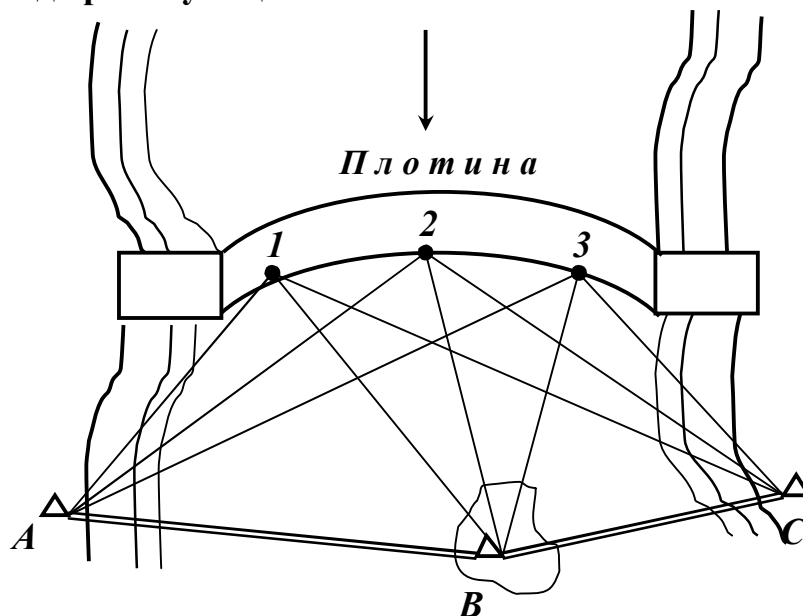


Рис. 12. Определение горизонтальных смещений методом триангуляции

Этот метод (рис. 12) предусматривает периодические определения координат точек $1, 2, 3, \dots$ с геодезических пунктов $A, B, C \dots$ путем измерения в треугольниках всех трех горизонтальных углов с точностью $0,5-0,7''$. Горизонтальные смещения получают как разность координат в i -м и начальном цикле наблюдений.

Другие краткие сведения о классических методах определения горизонтальных смещений с применением параллактического способа по 2-метровой базисной рейке, способа прямых и обратных угловых засечек, а также о различных методах с применением светодальномеров, лазеров, гироскопов и фотограмметрии можно прочесть, например, в упомянутой выше работе [62]. Кроме того отметим, что в работе [60] утверждается, что непрерывные GPS-измерения при контроле устойчивости плотин обеспечивают миллиметровую точность.

Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА ВЫСОКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА

К сооружениям башенного типа относятся: дымовые и вентиляционные трубы, градирни, ректификационные колонны, грануляционные башни, копры над стволами шахт, водонапорные башни, радиотелевизионные антенные опоры, силосные башни и др.

Крен – наиболее характерный показатель общей деформации высокого сооружения. Он возникает из-за неравномерных осадок фундамента, изменения гидрогеологии несущих грунтов, тектонических и техногенных процессов, искривлений верхней части конструкции и других факторов. Существенное влияние на величину и направление крена оказывают ветровые нагрузки и односторонний солнечный нагрев, в результате чего верх сооружения совершает амплитудно-частотные колебания.

Под контролем пространственного положения этих сооружений будем понимать определение отклонения осей и плоскостей сооружения от вертикали, определение абсолютной величины крена и его направления, приращение крена и изменение его направления, скручивание сооружения. и др. Подобные деформации вызывают дополнительный момент, который может привести к потере устойчивости сооружения. Поэтому в проектах для высоких сооружений предусматриваются измерения этих деформаций, как при строительстве, так и особенно при их эксплуатации. По результатам таких измерений, при необходимости, могут разрабатываться профилактические меры для устранения активного увеличения крена и сохранения пригодности сооружения.

Существует значительное количество способов определения крена высоких зданий и сооружений башенного типа: по разности отметок осадочных марок, установленных на фундаменте или цокольной части сооружения; способ вертикального проектирования хорошо заметной верхней точки сооружения на горизонтальную рейку, закрепленную внизу сооружения; способ измерения го-

ризонтовых углов на верхнюю точку сооружения; способ определения произвольных направлений или магнитных азимутов на образующие сооружения; способ определения прямоугольных координат (способ засечек) некоторой верхней точки сооружения.

Из других менее известных способов определения крена можно отметить способ малых углов, способ горизонтальных и вертикальных углов, способ фоторегистрации, способ одного опорного пункта, различные способы использования приборов вертикального проектирования. Известны предложения по использованию наклономеров, микронивелиров, маятниковых кренометров, систем видеоизмерения, телевидения, GPS-приемников и электронных тахеометров.

В работах [2, 4, 8, 12, 15, 45] и ряде других приведены некоторые обобщения способов определения крена высоких зданий и сооружений башенного типа. Остановимся на наиболее распространенных и новых способах определения крена таких сооружений.

В период строительства и последующей эксплуатации сооружений башенного типа геодезическое обоснование рекомендуется создавать в виде радиальной системы координат с началом в центре ствола. В состав обоснования входят пункты наблюдений, закрепленные на местности опорными знаками, которые монтируются на осях симметрии ствола.

Высотное обоснование включает глубинные или стенные реперы. Осадочные марки устанавливаются на фундаменте каждого пояса башни, а на мачтовых опорах – на каждом анкерном фундаменте.

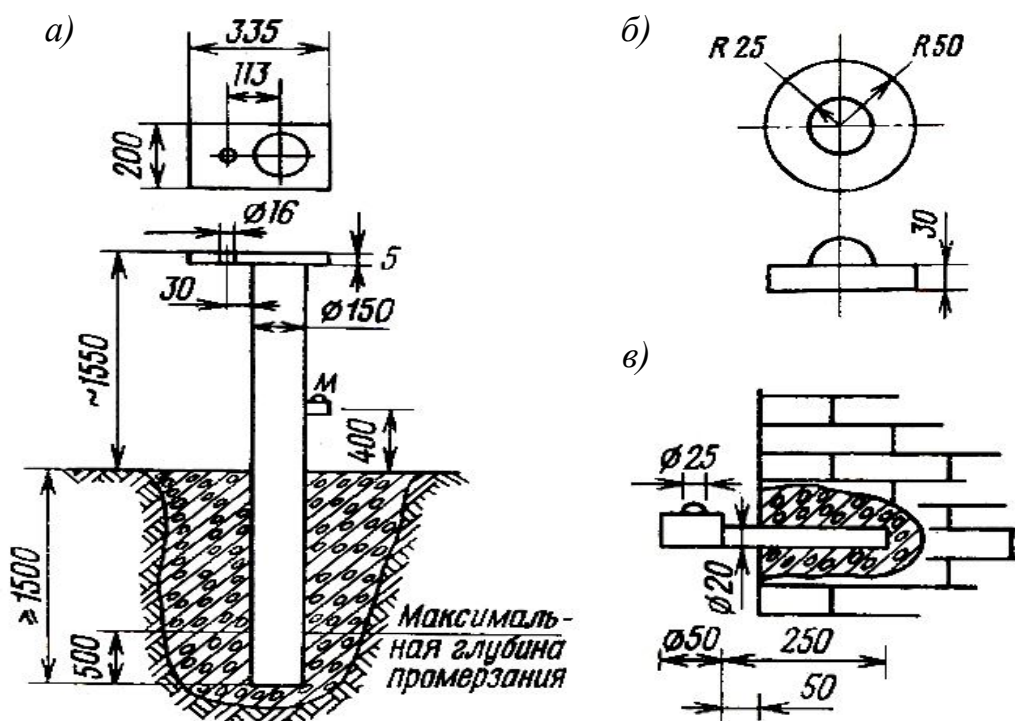


Рис. 13. Конструкция опорного знака (а), осадочной марки (б) и стенного репера (в)

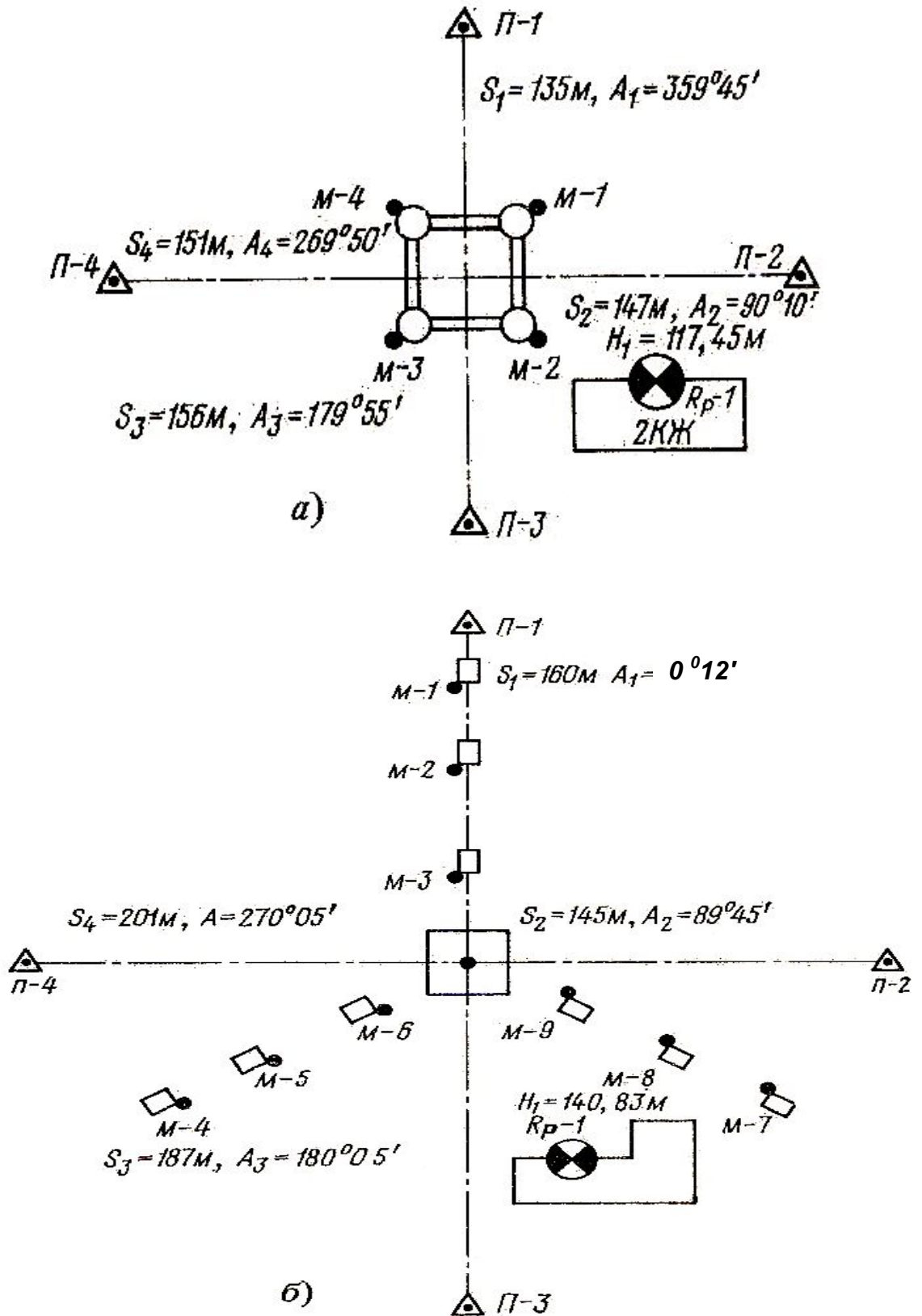


Рис. 14. Пример геодезического плано-высотного обоснования для контроля четырехугольной башни (а) и мачты (б)

Конструкция опорного знака состоит из металлической трубы диаметром 150-200 мм, закладываемой в грунт на 0,5 м ниже глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности земли. Основание трубы в земле бетонируется. На верху трубы приварена пластина толщиной 5 мм с отверстием диаметра 16 мм под становой винт геодезического прибора (рис. 13), что обеспечивает однообразное положение прибора на опорном знаке.

Места установки опорных знаков и реперов определяются по планам будущей застройки и реконструкции территорий, прилегающих к сооружению, а также с учетом их сохранности на весь период эксплуатации этого сооружения.

Плановые пункты рекомендуется закреплять на расстояниях от 1,3 до 2,0 высот ствола. На рис. 14 приведен пример геодезического обоснования для металлических антенных опор сооружений связи в виде четырехугольной башни и мачты (*Инструкция по эксплуатации металлических антенных опор радиостанций и радиотелевизионных передающих станций. М., «Радио и связь», –1983. – 43 с.*).

1. Способ высокоточного нивелирования

Для осуществления этого способа в цоколе, например, дымовой трубы должно быть установлено не менее четырех осадочных марок.

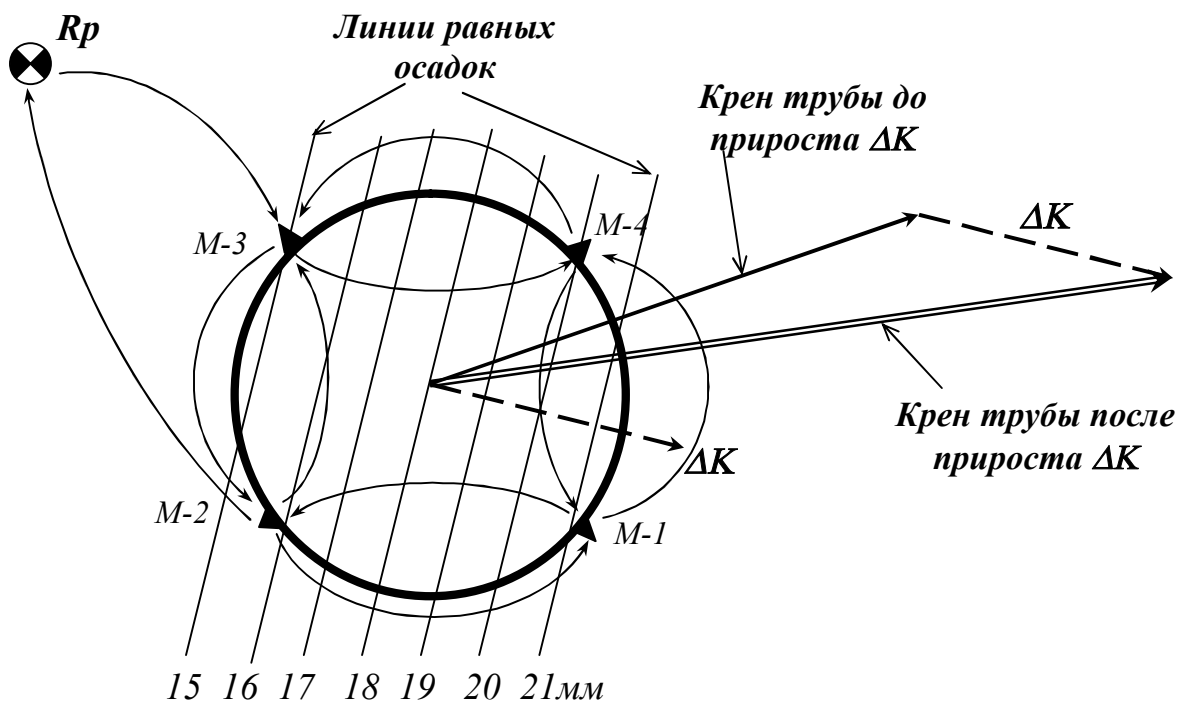


Рис. 15. Определение направления и прироста крена трубы по осадкам её фундамента

После измерения осадок в очередном цикле, на схеме расположения осадочных марок сооружения проводят линии равных осадок (рис. 15) и по максимальной разности осадок вычисляют значение прироста крена ΔK по формуле:

$$\Delta K = \frac{\Delta SH}{D}, \quad (12)$$

где ΔS – максимальная разность осадок по диаметру сооружения; H – высота сооружения; D – диаметр сооружения.

Направление прироста крена перпендикулярно к линиям равных осадок фундамента. Произведя векторное сложение крена трубы до прироста с величиной прироста ΔK , получают направление и величину общего крена трубы за время, прошедшее между первым и выполненным циклом наблюдений.

Если на схеме расположения осадочных марок провести линии равных осадок между начальным и последним циклами наблюдений, то по приведенной выше методике можно сразу получить величину и направление крена между первым и последним циклом наблюдений.

Ошибка определения прироста крена данным способом составляет в среднем 1 см при определении разности осадок с точностью 1 мм. Этим способом можно выявлять только прирост или крен между двумя циклами наблюдений, а не фактическую его величину, складывающуюся из величины крена до начального цикла наблюдений и последующих результатов наблюдений, поэтому он рекомендуется как контрольный, дополняющий основные способы.

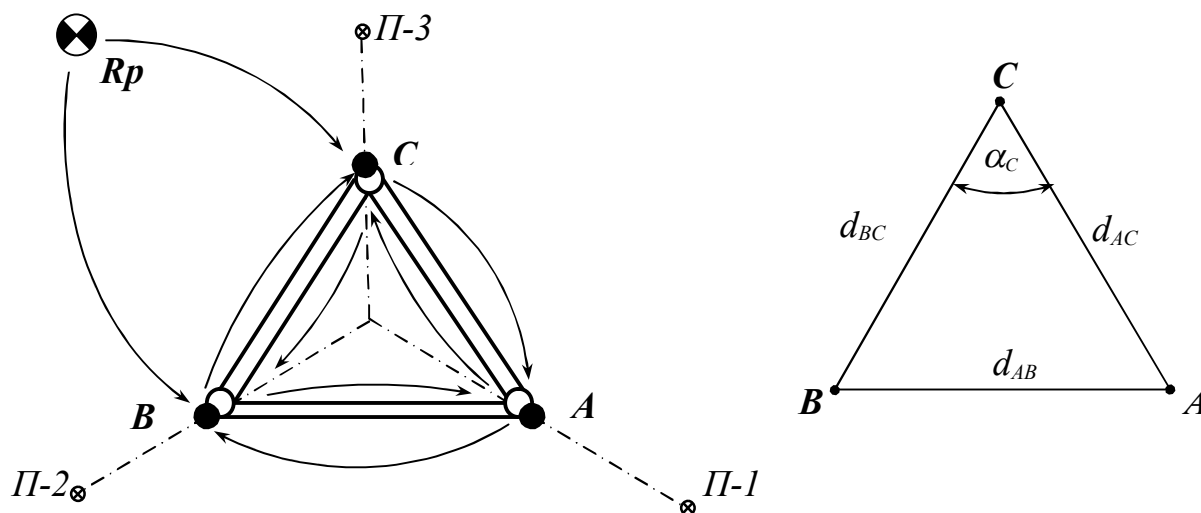


Рис. 16. Схемы к определению крена башни по трем осадочным маркам

В случае башенного сооружения треугольной формы будет заложено в фундаменте опор всего три осадочных марки A , B и C (рис 16), измеренное расстояние между которыми составляет соответственно d_{AB} , d_{BC} и d_{AC} .

В этом случае для определения прироста крена можно использовать описанный выше способ линий равных осадок или выполнить аналитическое решение следующим образом (Квасневский В.А. *Определение кренов сооружений по трем осадочным маркам // Геодезическое обеспечение строительства. – М., 1987. – С. 111–113*). Допустим, что за период между первым и некоторым последующим циклами наблюдений осадочные марки A , B и C претерпели осадку соответственно h_A , h_B и h_C . Тогда угол γ крена сооружения за рассматриваемый период можно вычислить по формуле

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\sqrt{\left(\frac{h_A}{d_{AC}}\right)^2 + \left(\frac{h_B}{d_{BC}}\right)^2 - 2\left(\frac{h_A}{d_{AC}}\right)\left(\frac{h_B}{d_{BC}}\right)\cos\alpha_C}}{\sin\alpha_C}, \quad (13)$$

где угол α_C определяется по теореме косинусов по величине расстояний между марками.

При расположении осадочных марок A , B , C в вершинах равностороннего треугольника имеем $d_{AB} = d_{BC} = d_{AC} = d$ и угол $\alpha_C = 60^\circ$. Тогда формула (13) примет вид:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{2\sqrt{h_A^2 + h_B^2 - h_A h_B}}{d\sqrt{3}}. \quad (14)$$

Добавим, что в случае нивелирования трех марок A , B и C , по их условным координатам и величинам полученных осадок можно найти уравнение плоскости, проходящей через эти точки. Из последующего решения трех уравнений находят значения параметров, по которым вычисляют угол крена, полный крен и его направление [8].

Что касается наблюдения за осадками радиотелевизионных металлических антенных опор, выполняемых по схеме на рис. 17, то для определения прироста крена башни четырехугольной формы (рис. 17, а) можно использовать описанный выше способ линий равных осадок. По результатам же нивелирования осадочных марок мачты (рис. 17, б) можно судить только об осадках фундаментов ствола и анкеров оттяжек мачты.

Добавим, что предельно допустимая величина изменения отметок фундаментов для башен четырехугольной формы не должна превышать 0,001 расстояния между смежными фундаментами поясов, а для мачт – 30 мм для фундаментов ствола и анкеров оттяжек (*Инструкция по эксплуатации металличе-*

ских антенных опор радиоцентров и радиотелевизионных передающих станций. М., «Радио и связь», –1983. – 43 с.).

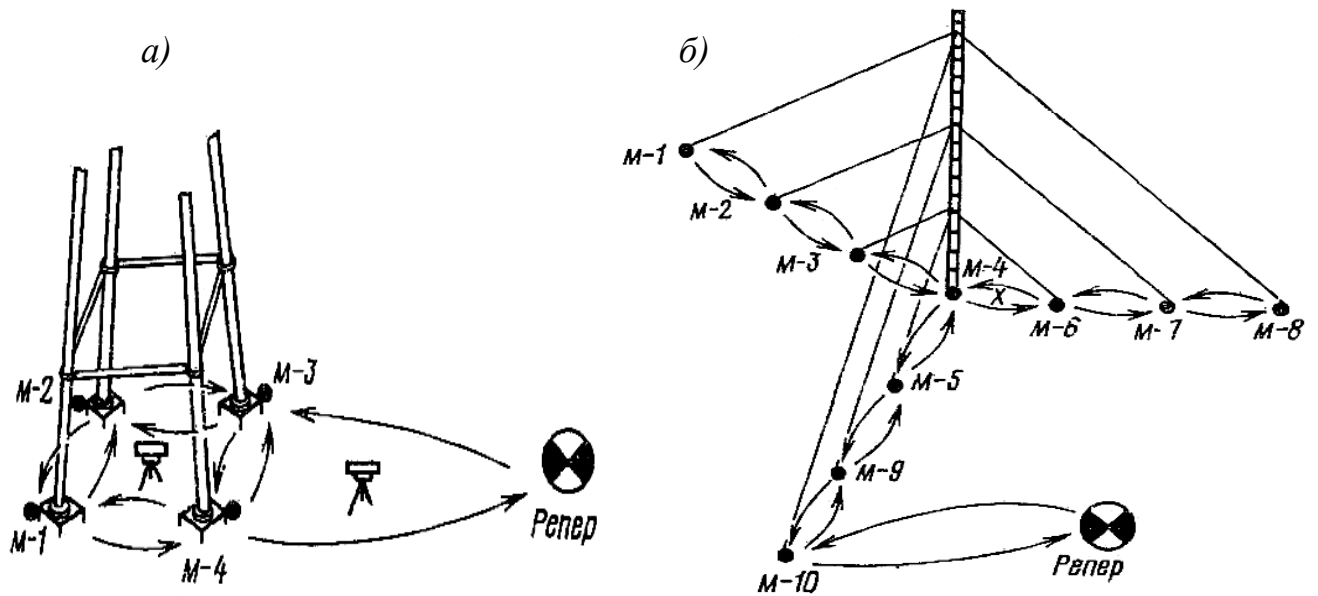


Рис. 17. Типовая схема нивелирных ходов при контроле осадок фундаментов башни (а), ствола и анкерных фундаментов мачты (б)

Крен здания (сооружения) по любому выбранному направлению можно определять по результатам наблюдений за осадочными марками, закрепленными на фундаменте или цокольной части сооружения. Об этом было упомянуто в разделе «Наблюдения за осадками сооружений».

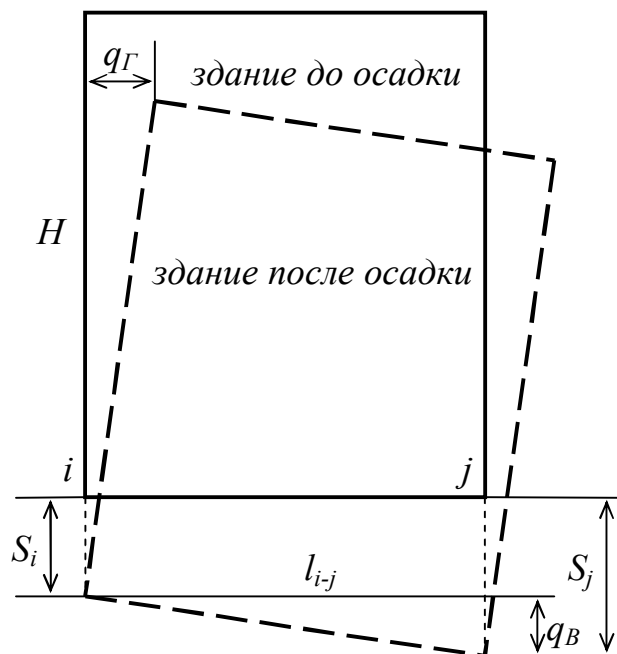


Рис. 18. Определение крена по результатам нивелирования точек на фундаменте сооружения

Крен сооружения по выбранному направлению может быть выражен двумя составляющими: вертикальной и горизонтальной. Вертикальная составляющая равна разности осадок двух крайних точек i и j , расстояние между которыми равно l_{i-j} , то есть: $q_B = S_i - S_j$. Горизонтальная составляющая q_G представляет собой отклонение от вертикали верхней точки сооружения на высоте H , то есть $q_G = (q_B H) : l_{i-j}$.

Более полную картину крена сооружения можно получить, проведя на схеме расположения осадочных марок линии равных осадок (рис. 15).

В работе (Вагин В. А., Миреф Р. *Определение крена по результатам геометрического нивелирования // Изв. Вузов. Геод. и аэрофотосъемка. – 1993. – №3. – С. 22–30*) значения осадок представляются в виде линейного уравнения регрессии как функции плановых координат наблюдаемых осадочных марок с последующим определением величины и направления крена сооружения.

2. Способ вертикального проектирования

Под этим способом понимается вертикальное проектирование наклонным визирным лучом теодолита хорошо заметной верхней точки сооружения, например, на горизонтальную рейку, закрепленную внизу сооружения.

Проектирование в каждом цикле осуществляется теодолитом с двух опорных пунктов 1 и 2 по двум взаимно перпендикулярным направлениям и при двух положениях вертикального круга теодолита (рис. 19).

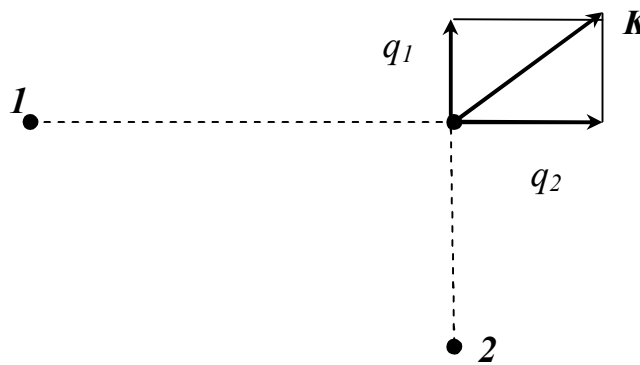


Рис. 19. Схема определения крена способом вертикального проектирования наклонным визирным лучом

Периодически снося эту точку вниз и отмечая ее проекции, определяют увеличение крена от цикла к циклу. Величину K полного крена можно найти по формуле

$$K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2} , \quad (15)$$

где q_1 и q_2 – векторы крена, определенные соответственно с пункта 1 и с пункта 2 .

Следует сказать, что точность способа вертикального проектирования наклонным визирным лучом зависит только от точности взятия отсчетов по рейкам, на которую главное влияние оказывает отклонение основной оси теодолита от вертикали.

Для устранения этого влияния рекомендуется поступать следующим образом [5]. Если теодолит имеет компенсатор углов наклона, то вначале приводят прибор в рабочее положение по установочному уровню. Затем, закрепив зрительную трубу, направляют её параллельно двум подъемным винтам подставки и берут отсчет по вертикальному кругу.

Поворачивают трубу на 180^0 и вновь берут отсчет по вертикальному кругу. Если отсчеты не равны между собой, то с помощью этих двух подъемных винтов устанавливают на вертикальном круге средний отсчет, поворачивают трубу на 180^0 и проверяют, сохранился ли этот средний отсчет. Если нет, то действия повторяют, добиваясь равенства показаний вертикального круга. Повернув трубу на 90^0 , выполняют те же операции с помощью третьего подъемного винта. Теперь при любой ориентировке зрительной трубы отсчет по вертикальному кругу должен оставаться неизменным.

Если теодолит не имеет компенсатора углов наклона, но снабжен уровнем на зрительной трубе, то вначале приводят прибор в рабочее положение по установочному уровню. Ориентируют трубу по некоторому направлению, приводят пузырек уровня при трубе в нуль-пункт и отмечают (на стене, рейке, вешке и т.п.) положение перекрестия сетки нитей трубы. Поворачивают трубу на 90^0 , приводят пузырек уровня при трубе в нуль-пункт и вновь отмечают положение перекрестия сетки нитей. Затем, оставив трубу закрепленной, визируют попеременно на эти метки и добиваются с помощью подъемных винтов совпадения перекрестия сетки с обеими метками.

Методика вертикального проектирования применима и для башен треугольной формы путем определения линейных смещений $q_{1,2,3}$ вершин верхнего треугольника abc с соответствующих осей сооружения [45].

Так, линейные смещения q_1 , q_2 и q_3 (рис. 20) могут быть определены непосредственно способом вертикального проектирования теодолитом точек a , b и c верхнего треугольника на горизонтальные рейки, закрепленные в точках A , B и C нижнего треугольника. Причем, если смещения точек a , b и c происходят по часовой стрелке, то q_i будут считаться положительными, если против часовой стрелки – отрицательными. Так на рис. 20 смещения q_1 и q_2 положительные, а q_3 – отрицательное.

В результате линейных смещений нижний O_H и верхний O_B ортоцентры треугольников не будут находиться на одной вертикали. Смещение O_B относительно O_H характеризует величину крена K башни и его направление, а угол φ между соответствующими медианами верхнего abc и нижнего ABC треугольников является углом скручивания башни (рис. 20).

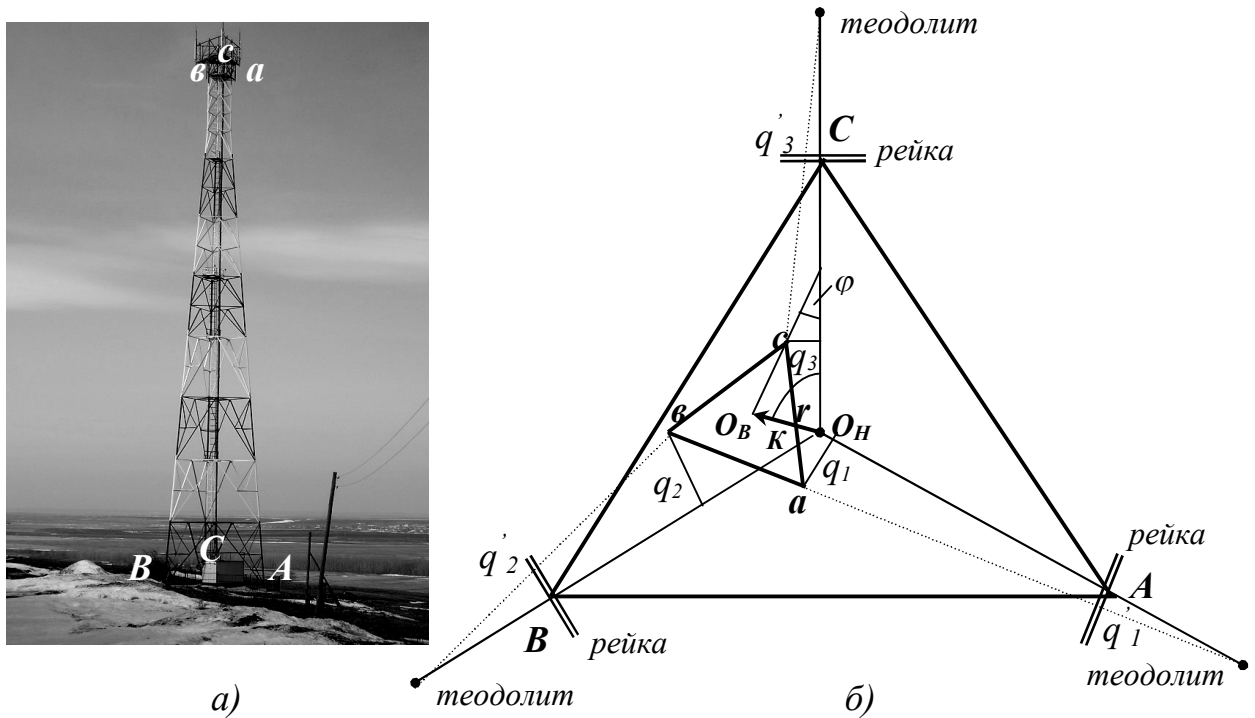


Рис. 20. Башня треугольной формы (а) и схема вертикального проектирования наклонным визирным лучом (б)

Строго говоря, вычислять линейные смещения $q_{1,2,3}$ следует по формуле

$$q = q' \left(1 + \frac{l}{L} \right), \quad (16)$$

подставляя в неё соответствующие значения отсчетов по рейкам $q'_{1,2,3}$, расстояний $L_{1,2,3}$ от теодолита до реек и расстояний $l_{1,2,3}$ от реек до визируемых точек a , b и c (рис. 21).

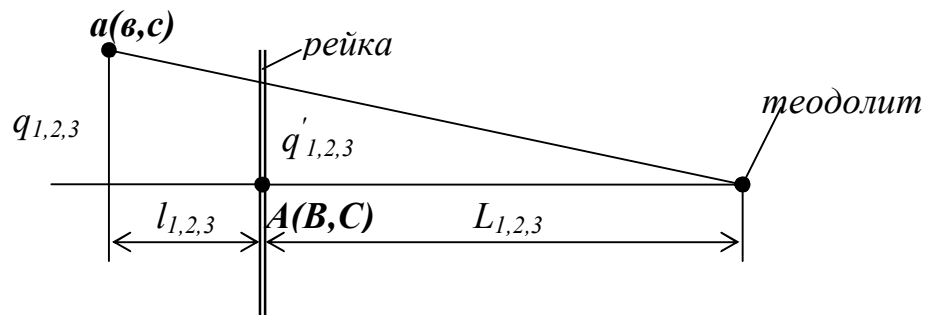


Рис. 21. Схема к определению линейного смещения способом вертикального проектирования

Так, например, у стандартной башни высотой 72,5 м сторона нижнего треугольника равна 10,5 м, верхнего – 2,5 м, поэтому, расстояние между точками $Aa = Bb = Cc \approx 4,6$ м. Исследования показывают, что точность определения линейных смещений практически не зависит от расстояний $l_{1,2,3}$, поэтому в формуле (16) отношением l/L можно пренебречь [45].

По значениям линейных смещений q_1 , q_2 и q_3 можно определить крен, его направление и угол скручивания башни различными способами: графическим, аналитическим и графо-аналитическим.

• **Графический способ** (рис. 22) определения величины и направления крена башни треугольной формы заключается в следующем [39].

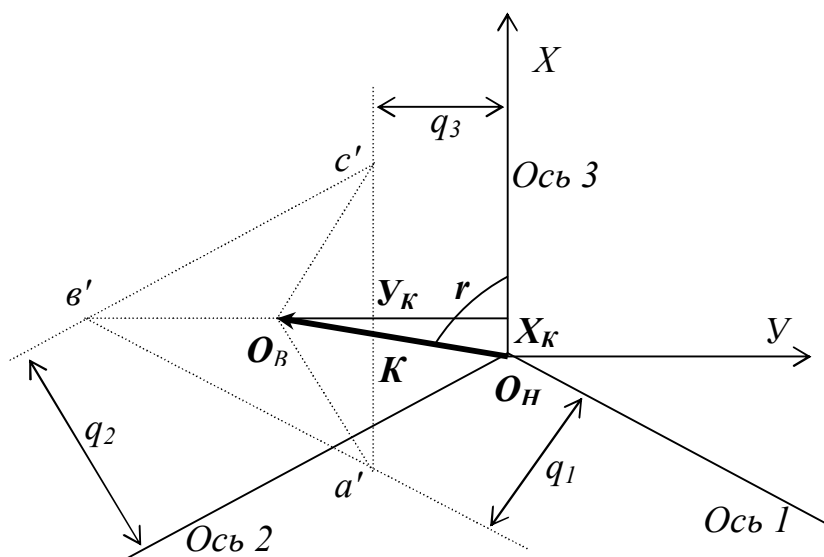


Рис.22. Графический способ определения величины и направления крена башни треугольной формы

Отложив от осей башни в крупном масштабе соответствующие отрезки q_1 , q_2 и q_3 , проводят линии, параллельные осям башни. Точки пересечения этих линий сформируют равносторонний треугольник $a'b'c'$, ортоцентр которого O_B совпадает с ортоцентром верхнего треугольника башни abc . Отрезок $O_H O_B$ будет соответствовать величине крена K башни, а угол r (румб) – направлению крена относительно оси X условной системы прямоугольных координат $XO_H Y$.

• **Аналитический способ** основан на использовании упомянутой выше (рис.22) условной системы координат $XO_H Y$, в которой ось абсцисс совпадает с одной из осей башни. Тогда $K = \sqrt{X_K^2 + Y_K^2}$, а по значениям координат X_K и Y_K можно вычислить румб r или дирекционный угол направления крена в этой условной системе координат. В результате теоретических исследований [49] установлено:

$$X_K = \frac{q_2 - q_1}{\sqrt{3}}, \quad Y_K = \frac{-q_1 - q_2 + 2q_3}{3}, \quad (17)$$

$$K = \frac{2}{3} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 - q_1q_2 - q_1q_3 - q_2q_3}, \quad (18)$$

$$\operatorname{tgr} = \frac{Y}{X} = \frac{-q_1 - q_2 + 2q_3}{\sqrt{3}(q_2 - q_1)}, \quad (19)$$

причем, в эти формулы необходимо подставлять $q_{1,2,3}$ со своим знаком «плюс» или «минус», о чем было сказано выше.

Если $q_1 = q_2 = q_3$, то $K = 0$, $X_K = 0$, $Y_K = 0$, то есть крен башни отсутствует, а имеет место только ее скручивание. При $q_1 = q_2 = q_3 = 0$ нет ни крена ни скручивания.

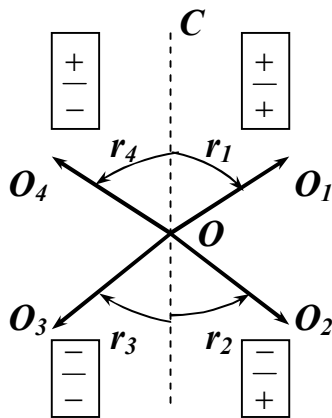


Рис. 23. Направление крена башни

В качестве румба r , определяемого по формуле (19), фигурирует острый угол, отсчитываемый от оси OC (рис. 23) в зависимости от знаков числителя и знаменателя этой формулы. Здесь могут встретиться четыре случая.

Так, если числитель и знаменатель имеют оба знак «плюс», то направление крена составляет угол r_1 с осью башни OC . Если числитель со знаком «минус», а знаменатель со знаком «плюс», то направление крена под углом r_2 . При отрицательных числителе и знаменателе угол крена r_3 . При положительном числителе и отрицательном знаменателе угол крена r_4 .

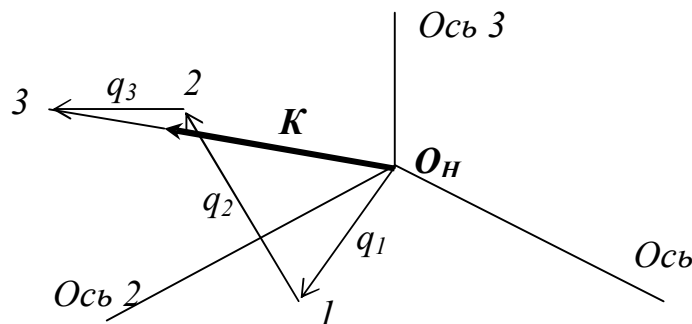


Рис. 24. Определение направления крена путем построения полигона

Для отличия одного румба от другого, примем OC за условное направление на север. Тогда (по аналогии с обратной геодезической задачей) r_1

будет иметь название «северо-восток» (СВ), r_2 – «юго-восток» (ЮВ), r_3 – «юго-запад» (ЮЗ), r_4 – «северо-запад» (СЗ).

• **Графо-аналитический способ** предусматривает построение (в крупном масштабе) полигона $O_H-1-2-3$, стороны которого равны величинам $q_{1,2,3}$ смещений, а направления этих сторон перпендикулярны соответствующим осям сооружения (рис. 24).

• **Угол скручивания башни φ** представляет собой угол между соответствующими медианами (рис. 20) или соответствующими сторонами нижнего ABC и верхнего abc треугольников. Его можно вычислить по формуле

$$\sin\varphi = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{d\sqrt{3}}, \quad (20)$$

где d – длина стороны верхнего треугольника abc . В эту формулу необходимо подставлять $q_{1,2,3}$ со своим знаком «плюс» или «минус».

Полученное по формуле (20) положительное значение угла φ означает скручивание башни по часовой стрелке, отрицательное – против часовой стрелки.

Теоретические основы определения крена и скручивания сооружений башенного типа треугольной формы подтверждены результатами знакового моделирования, включающего геометрическую интерпретацию крена и скручивания башни с последующим математическим моделированием. Сравнение результатов, получаемых графическим и аналитическим способами показало, что точность графического способа составляет 0,2 мм и 20' при линейных и угловых измерениях соответственно [11].

3. Способ горизонтальных углов

Он предусматривает наблюдения верхней точки B сооружения с двух закрепленных на местности опорных точек I и 2 в двух взаимно перпендикулярных ($\gamma = 90^\circ$) направлениях (рис. 25).

В первом цикле измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 на точку B . Во втором цикле вновь измеряют горизонтальные углы β_1' и β_2' , находят разности $\Delta\beta_1 = \beta_1' - \beta_1$ и $\Delta\beta_2 = \beta_2' - \beta_2$ и вычисляют приращения крена и его полную величину в данном цикле:

$$q_1 = \frac{\Delta\beta_1'' L_1}{\rho''}, \quad q_2 = \frac{\Delta\beta_2'' L_2}{\rho''}, \quad K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2}, \quad (21)$$

где L_1 и L_2 – горизонтальные расстояния от опорных точек до наблюдаемой

точки B , которые могут быть сняты графически с плана, измерены непосредственно на местности, определены прямой угловой засечкой с опорных пунктов, получены из решения обратных геодезических задач по известным координатам опорных пунктов и наблюдаемой точки и др.

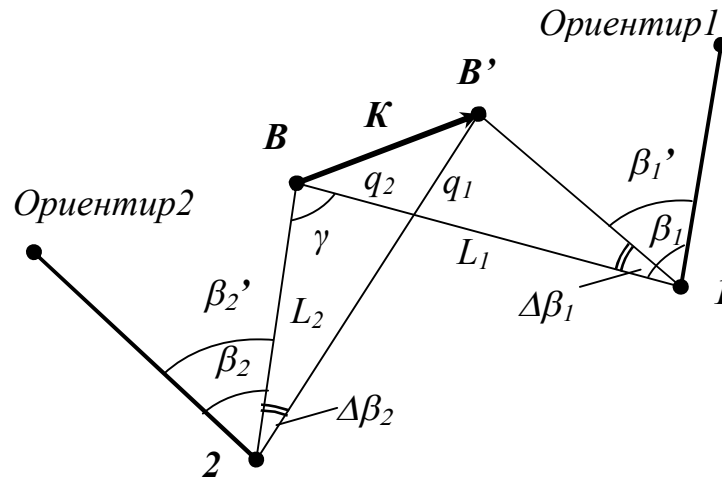


Рис. 25. Схема определения крена способом горизонтальных углов

Если угол засечки γ отличается от 90° , но в незначительных пределах, то величину крена следует вычислять по формуле

$$K = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 - 2q_1q_2 \cos \gamma}, \quad (22)$$

Если с точек 1 и 2 можно наблюдать верхнюю B и нижнюю B' точки сооружения, которые по техническим условиям должны находиться на одной отвесной линии (например, вертикальное ребро сооружения или колонны), то по разности измеренных горизонтальных углов будем получать полную величину крена.

Эта методика применима и для башен треугольной формы с целью определения угловых смещений $\Delta\beta$ вершин верхнего треугольника с соответствующих осей сооружения. Для этого три станции $Ст.1, 2, 3$ должны располагаться на трех осях башни и вместо измерения углов β и β' будут измеряться непосредственно углы $\Delta\beta$. Таким образом перейдем от способа углов к видоизмененному *способу малых углов* [45].

Следует сказать, что любые угловые измерения рекомендуется выполнять при 100% – ной облачности и при скорости ветра менее 3 м/с на высоте 10 м.

4. Способ направлений

Этот способ заключается в определении произвольных направлений или магнитных азимутов, например, на образующую дымовой трубы в верхнем и нижнем (или верхнем, нижнем и промежуточных) ее сечениях. Пример определения крена трубы с расположением наблюдаемых точек $I-I'$, $2-2'$,... на уровне светофорных площадок приведен на рис. 25. Наблюдения производились с двух станций $Ст.2$ и $Ст.3$ в двух взаимно перпендикулярных направлениях (угол засечки 88°) теодолитом 2Т5К с использованием ориентир-буссоли.

Таблица 1

Результаты измерений со станции 2 ($L_2 = 98,25\text{м}$)

№№ точек	Отсчеты по гориз.кругу		Азимут на центр трубы	Δ_i	$K_i, \text{мм}$	$K_H, \text{мм}$
	КП и КЛ	Средние				
1	2	3	4	5	6	7
I	94 ⁰ 25,3	94 ⁰ 25,6				
	274 ⁰ 26,0		96 ⁰ 26,2	-5',5	-159	-191
I'	98 ⁰ 26,3	98 ⁰ 26,6				
	278 ⁰ 27,0					
2	94 ⁰ 15,0	94 ⁰ 15,4				
	274 ⁰ 15,8		96 ⁰ 29,8	-1',9	-55	-87
$2'$	98 ⁰ 44,0	98 ⁰ 44,2				
	278 ⁰ 44,5					
3	93 ⁰ 55,0	93 ⁰ 55,0				
	273 ⁰ 54,9		96 ⁰ 29,2	-2',5	-72	-104
$3'$	99 ⁰ 03,5	99 ⁰ 03,4				
	279 ⁰ 03,4					
4	93 ⁰ 29,3	93 ⁰ 29,0				
	273 ⁰ 28,8		96 ⁰ 31,7	-	-	-32
$4'$	99 ⁰ 34,8	99 ⁰ 34,4				
	279 ⁰ 34,0					

Таблица 2

Результаты измерений со станции 3 ($L_3 = 174,00\text{ м}$)

№№ точек	Отсчеты по гориз.кругу		Азимут на центр трубы	Δ_i	$K_i, \text{мм}$	$K_H, \text{мм}$
	КП и КЛ	Средние				
1	2	3	4	5	6	7
I	182 ⁰ 52,7	182 ⁰ 53,4				
	2 ⁰ 54,0		184 ⁰ 02,5	-1',0	-51	-61
I'	185 ⁰ 11,0	185 ⁰ 11,6				
	5 ⁰ 12,1					
2	182 ⁰ 47,0	182 ⁰ 47,5				
	2 ⁰ 48,0		184 ⁰ 03,6	+0',1	+5	-5
$2'$	185 ⁰ 19,3	185 ⁰ 19,6				
	5 ⁰ 20,0					

3	182°36,4	182°36,4				
	2°36,5		184°02,9	-0,6	-30	-40
3'	185°29,4	185°29,4				
	5°29,4					
4	182°19,6	182°19,2				
	2°18,8		184°03,5	-	-	-10
4'	185°47,7	185°47,8				
	5°47,8					

Одновременно с измерением направлений (графы 1-4) измерялись углы наклона на наблюдаемые точки (в таблицах 1 и 2 не показаны). Малое расстояние от станции 2 до трубы компенсировалось тем, что эта станция располагалась на крыше химцеха, что позволило уменьшить измеряемые углы наклона.

Находят средние направления на нижний, верхний и промежуточные центры трубы, разность которых характеризует крен трубы в угловой мере $\Delta_{1,2}$ по двум взаимно перпендикулярным направлениям (графа 5). По формуле

$$K_{1,2} = 0,49 \times \Delta_{1,2} \times 0,01 \times L_{1,2}, \text{ мм} \quad (23)$$

вычисляют значения частных кренов $K_{1,2}$ (графа 6), причем знак плюс означает крен вправо, а знак минус – влево. В этой формуле $L_{1,2}$ – расстояния от центра трубы до точек стояния теодолита в метрах, а $\Delta_{1,2}$ – в секундах.

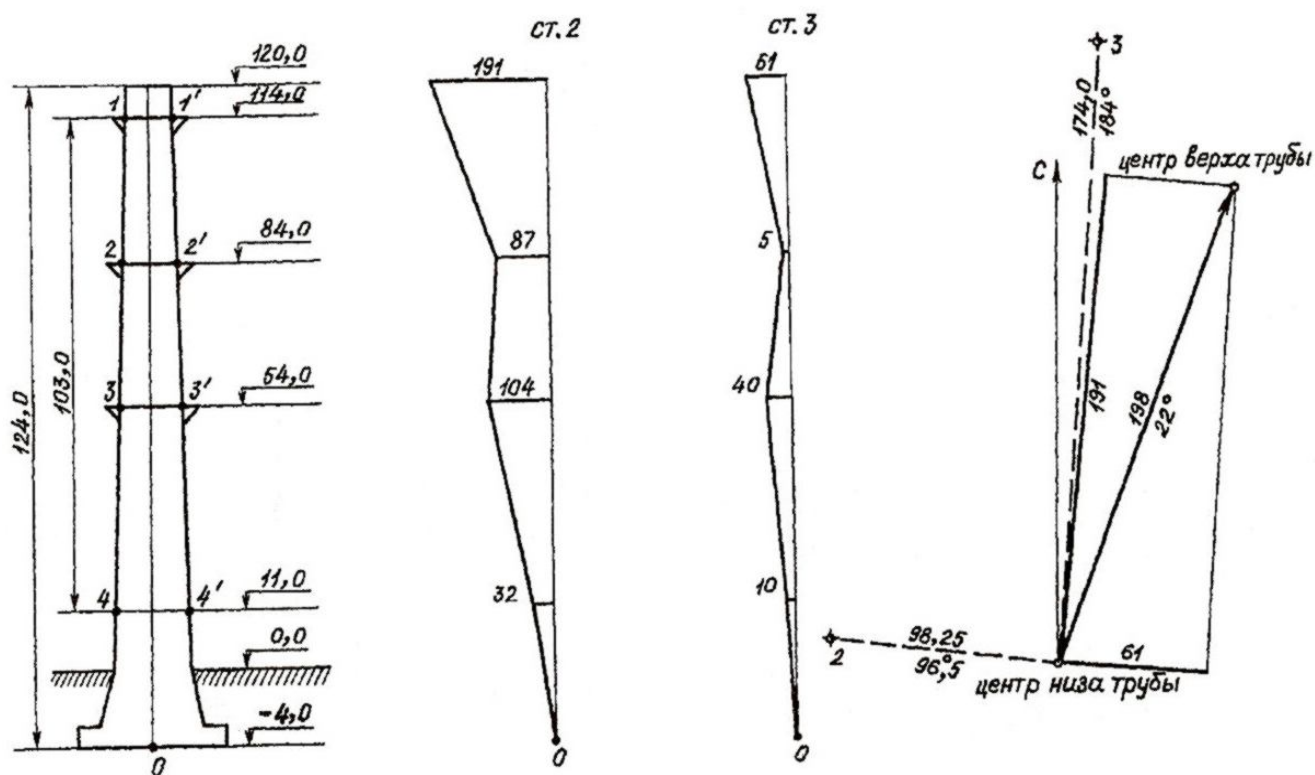


Рис. 26. Точки наблюдений, частные крены и общий крен трубы

Полученные значения частных кренов необходимо экстраполировать на всю высоту трубы (графа 7). На рис. 26 показаны разрезы, характеризующие отклонения оси трубы от вертикали по направлениям, перпендикулярным наблюдаемым. Кроме того, на рис. 26 построены графики, характеризующие величины в мм и направления крена трубы, полное значение K которого определяется графически способом перпендикуляров [45] и может быть вычислено по формуле

$$K = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{K_1^2 + K_2^2 - 2K_1K_2 \cos \gamma} , \quad (24)$$

где γ - угол засечки с двух станций; K_1 и K_2 - экстраполированные значения частных кренов верха трубы.

Способ направлений для треугольных башен может выполняться одновременно со способом малых углов путем визирования теодолитом с каждой из трех осевых точек на соответствующие три пояса башни (левый, средний и правый).

Типовая схема угловых измерений при контроле башни четырехугольной формы представлена на рис. 27. Угловые измерения выполняются с пунктов планового обоснования (см. рис. 14) в следующей последовательности:

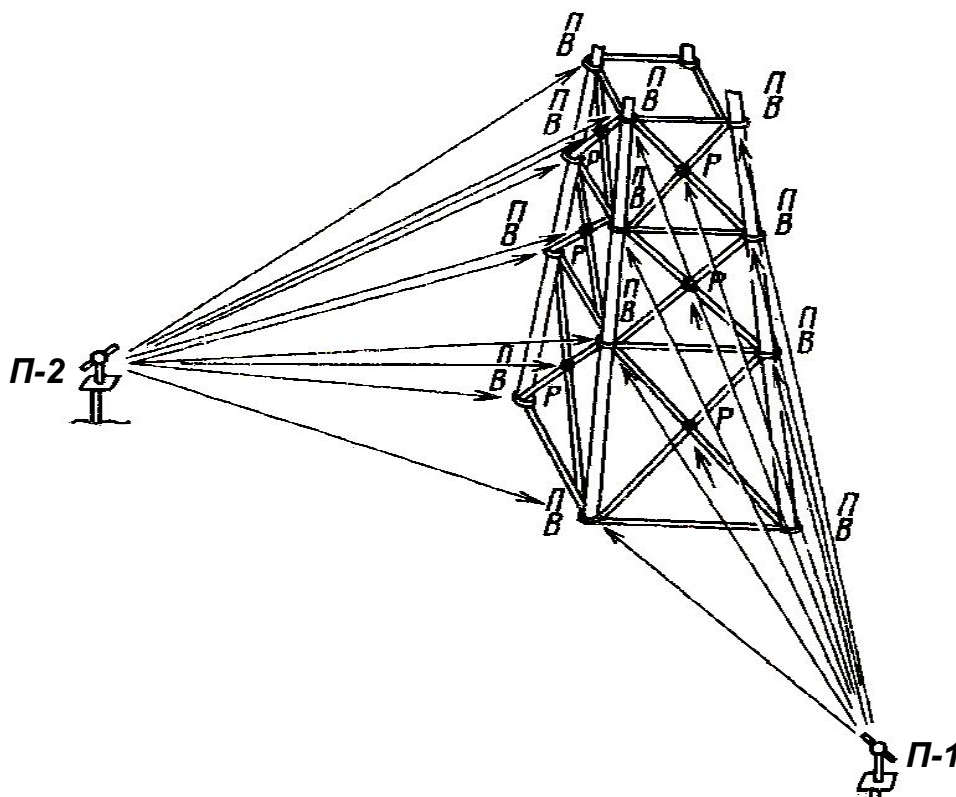


Рис. 27. Схема угловых измерений при контроле башни четырехугольной формы

а) «круг лево» КЛ: наведение на центр основания башни, на левый и правый пояса в местах фланцевых или болтовых соединений смежных секций последовательно снизу вверх в порядке сечений 1, 2, 3 и т.д.;

б) «круг право» КП: действия в порядке, аналогичном при «круге лево», но в обратной последовательности.

Обработка результатов угловых измерений аналогична таковой при контроле пространственного положения дымовой трубы, пример которой рассмотрен выше.

Отклонение оси ствола такой башни от вертикали допускается не более $1/1000$ высоты контролируемого сечения над фундаментом. Отклонение оси ствола и поясов мачты от вертикали допускается не более $1/1500$ высоты выверяемой точки над фундаментом.

Типовая исполнительная схема результатов контроля вертикальности ствола опоры представлена на рис. 28, а.

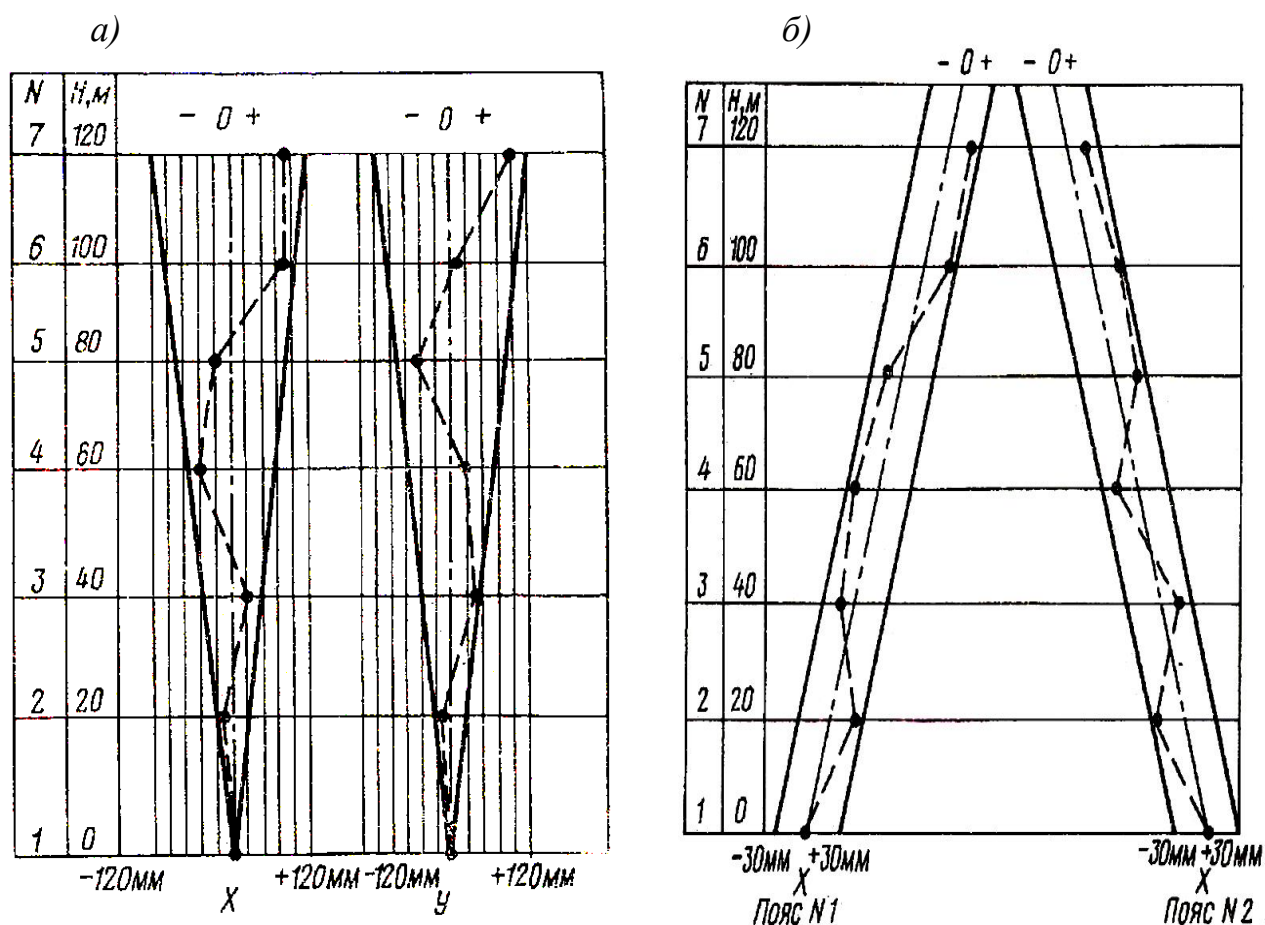


Рис. 28. Исполнительные схемы вертикальности ствола (а) и прямолинейности поясов башни четырехугольной формы (б)

Контроль прямолинейности поясов мачты или башни выполняется с целью выявления стрелы прогиба этих конструкций, которая не должна превышать $1/750$ длины выверяемого участка. Измерения производятся последовательно по всем наружным граням опоры. Методика измерений аналогична из-

мерениям, выполняемым при контроле вертикальности. Пример типовой исполнительной схемы результатов контроля прямолинейности двух поясов башни четырехугольной формы представлен на рис. 28, б.

Контроль геометрии решетки башни выполняется с целью выявления деформаций диагональных раскосов решетки по смещениям центральных фасонки. Предельное смещение деталей фасонки не должно превышать $1/750$ высоты секции. Методика измерений аналогична измерениям, выполняемым при контроле вертикальности башни. Дополнительными являются наведения на детали фасонки, выполняемые по всем четырем наружным граням ствола. Пример типовой исполнительной схемы результатов контроля решетки ствола башни четырехугольной формы представлен на рис. 29, б.

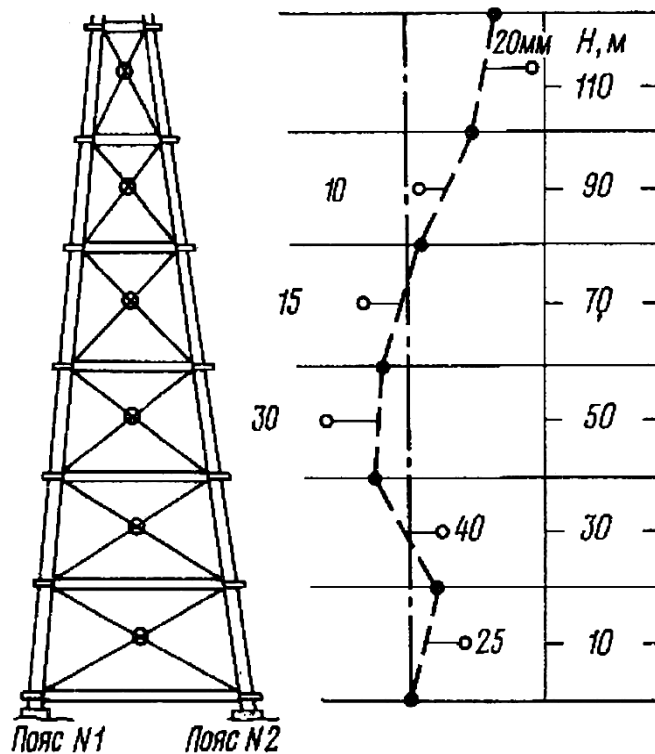


Рис. 29. Исполнительная схема решетки ствола башни

5. Способ малых углов

Рассмотрим этот способ на примере башни треугольной формы. Пусть (рис. 30) с точек 1 , 2 и 3 , расположенных на осях башни на расстояниях S_1 , S_2 и S_3 от ее верхних точек a , b и c , измерены малые горизонтальные углы β_1 , β_2 и β_3 , характеризующие линейные смещения q_1 , q_2 и q_3 верхних точек с осей сооружения, которые можно вычислить по формуле

$$q_i = \frac{S_i}{\rho''} \beta_i'' \quad (25)$$

где $\rho = 206265''$, причем, как было отмечено ранее, если смещения точек a , b и c происходят по часовой стрелке, то q_i будут считаться положительными, если против часовой стрелки – отрицательными. Так на рис. 30 смещения q_1 и q_2 положительные, а q_3 – отрицательное.

Точность m_q определения смещений по формуле (25) может быть оценена следующим образом:

$$m_q = \frac{\sqrt{S^2 m_\beta^2 + \beta^2 m_S^2}}{\rho}, \quad (26)$$

где m_β , m_S соответственно средние квадратические ошибки определения расстояний S_i и углов β_i .

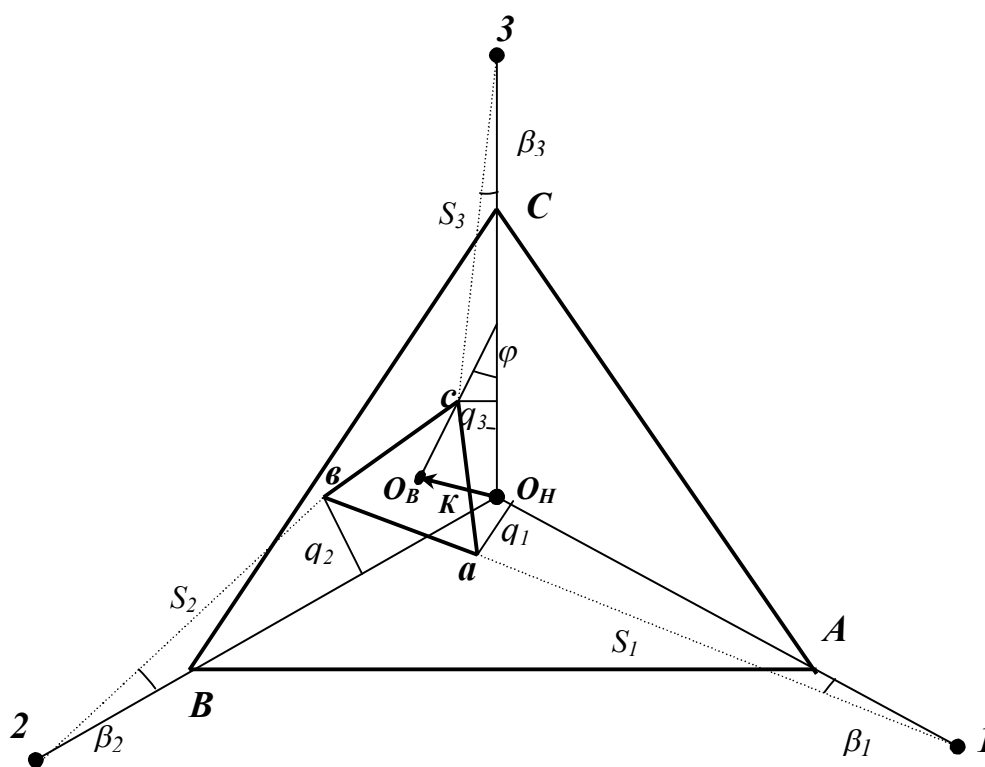


Рис. 30. Схема к определению величины и направления крена башни (A, B, C и a, b, c – соответственно нижние и верхние точки башни)

Исследования данного способа [11] показали, что в способе малых углов точность определения смещений зависит, в основном, от ошибок угловых измерений. Для отдельного теодолита она практически остается неизменной при различных относительных ошибках линейных измерений и различных значениях малого угла. Кроме того установлено, что нецелесообразно в случае малых углов применять широко распространенный в геодезии принцип равного влияния на точность определения линейных смещений. Его сущность заключается в

нахождении таких m_β и m_S , которые оказывают одинаковое влияние на заданную погрешность m_q . Здесь могут быть получены парадоксальные значения m_S , которые окажутся больше или соизмеримы с самой S . Для обоснования m_q следует пользоваться формулой (26), задавая m_β и обосновывая m_S .

По значениям найденных смещений q_1, q_2 и q_3 можно вычислить величину и направление крена и угол скручивания башни по приведенным выше формулам (17, 18, 19, 20).

На практике зачастую ограничиваются наблюдениями на верхние точки $a, в, с$ башни лишь с двух сторон с точек $1, 2$, или $2, 3$, или $1, 3$. В этом случае, приняв угол скручивания φ в формуле (20) равным нулю, получим в общем виде следующие соотношения:

$$q_1 = -q_2 - q_3, \quad q_2 = -q_1 - q_3, \quad q_3 = -q_2 - q_1, \quad (27)$$

подставляя в них значения q_i со своим знаком. Исследования показывают [47], что по полученным таким образом смещениям можно вычислить по формулам (18, 19) только приближенные значения крена K и его направления. В случае такого сокращенного способа контроля сделанные выводы о пространственном положении башни могут совершенно не соответствовать действительности. Для получения полной и достоверной информации о величине крена, его направлении и угле скручивания башни треугольной формы необходимо в способе малых углов, помимо наблюдений только двух точек ($в$ и $с$, или $а$ и $в$, или $а$ и $с$), выполнить наблюдения третьего пояса башни.

Следует отметить, что на точность способа малых углов может оказывать существенное влияние смещение точек стояния теодолита $1, 2, 3$ (рис. 30) с осей башни.

Действительно, (рис. 31) если точка стояния теодолита смещена с оси башни на некоторую величину TT' (нестворность теодолита), то вместо правильного малого угла β будет измерен некоторый угол β' . В результате этого, вместо правильного линейное отклонение $ар$ будет получено неправильное линейное отклонение $ар'$. Расчеты показывают [44], что, например, для башни высотой $H = 70$ м при изменении разности $(\beta' - \beta)$ от 5 до 300 угловых секунд и для различных расстояний S от $1,0H$ до $3,0H$ ошибка определения линейного отклонения $ар$ может находиться в пределах от 0,2 до 30,5 см.

Исключить влияние нестворности теодолита можно следующим образом. Во-первых, можно контролировать положение теодолита на оси сооружения путем измерения горизонтальных углов $BT'A$ и $AT'C$ (рис. 31) и при необходимости положение теодолита корректировать, добиваясь равенства этих углов, а точку стояния теодолита стараться максимально приближать к наблюдаемому сооружению.

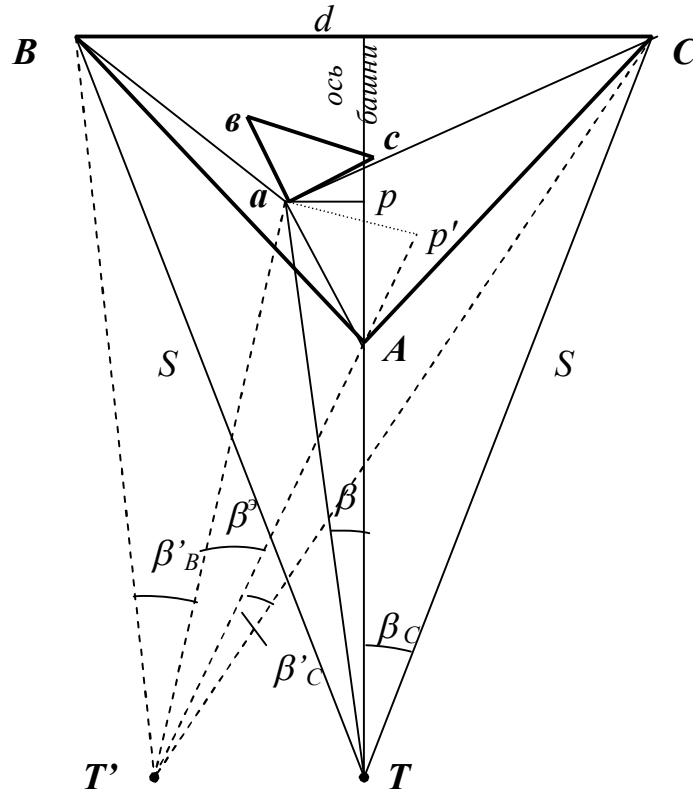


Рис. 31. Схема к определению влияния нестворности теодолита

Другой путь предусматривает вычисление правильного угла β или непосредственное определение правильного линейного отклонения ap графическим или аналитическим способами, о чем подробно сказано в нашей работе [44].

6. Способ координат (засечек)

Он заключается в определении прямой однократной или многократной засечкой координат хорошо заметной точки B на верху сооружения. Для этого с геодезических пунктов $1, 2, 3$ (с известными координатами) периодически измеряют горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_6$ и вычисляют координаты x и y этой точки (рис. 32).

По разности координат между начальным и последующими циклами наблюдений находят величину и направление крена за истекший период.

Если имеется возможность определять пространственные координаты x, y, z верхней B и нижней H точек сооружения, которые по техническим условиям должны лежать на одной отвесной линии, то угол v крена сооружения вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} v = \frac{\sqrt{(x_B - x_H)^2 + (y_B - y_H)^2}}{z_B - z_H}, \quad (28)$$

где x_B, y_B, z_B и x_H, y_H, z_H – координаты соответственно верхней и нижней точек сооружения.

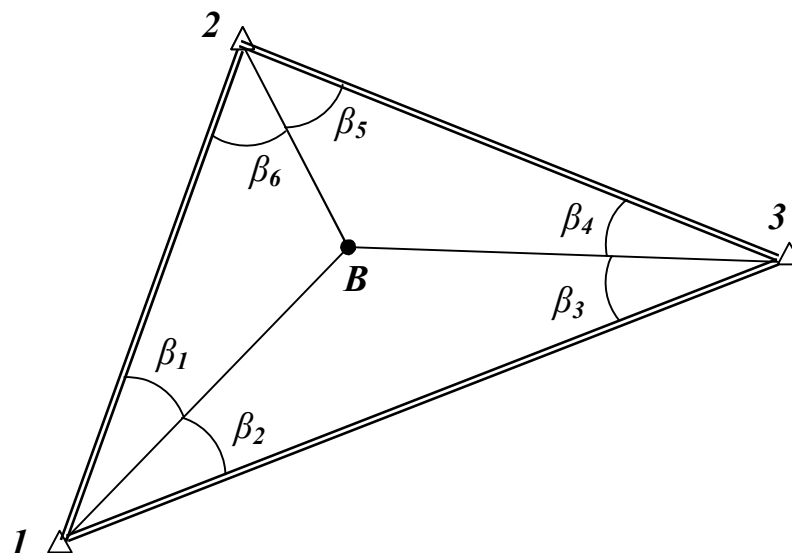


Рис. 32. Способ координат (засечек)

Использование способа координат (засечек) для башен треугольной формы предлагается осуществлять по следующей схеме. Вначале определяют координаты вершин нижнего и верхнего треугольников и находят координаты ортоцентров этих треугольников. По координатам ортоцентров путем решения обратной геодезической задачи получают всю необходимую информацию.

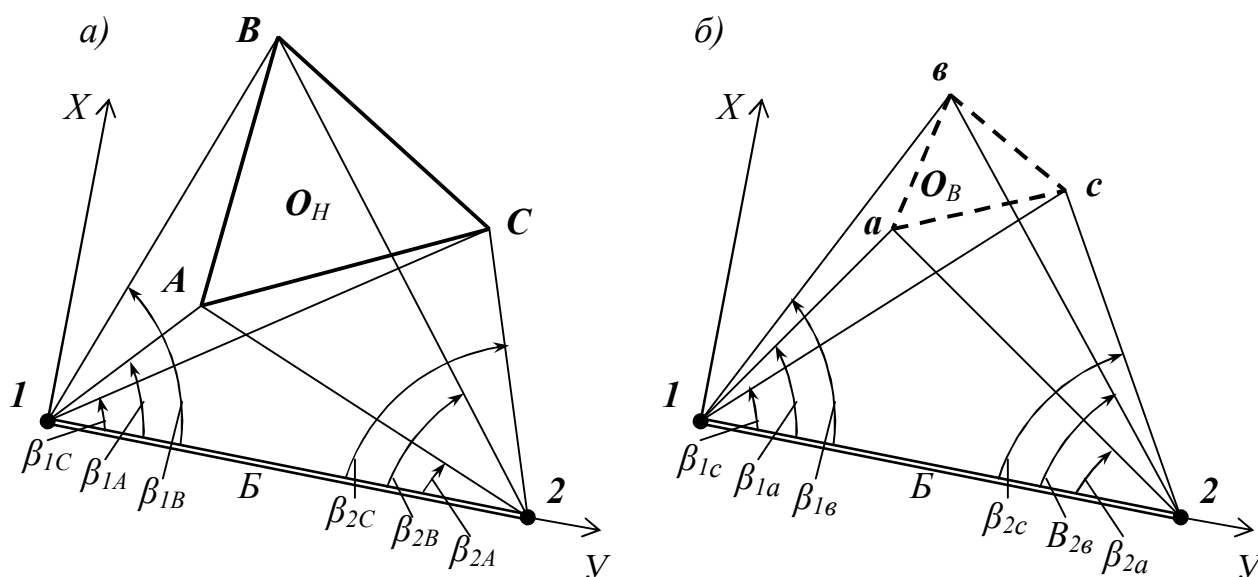


Рис. 33. Схемы к определению координат нижних (а) и верхних (б) точек башни

Для выполнения способа засечек разбивают рядом с сооружением базис 1-2 известной длины B . Точки 1 и 2 располагают произвольно на расстоянии

от башни не менее полутора – двух H (H – высота башни) так, чтобы с них была обеспечена видимость на нижние ABC и верхние abc точки, а углы в треугольниках засечек находились в пределах $30-120^0$.

С точек 1 и 2 измеряют теодолитом горизонтальные углы $\beta_{1C}, \beta_{1A}, \beta_{1B}$ и $\beta_{2C}, \beta_{2B}, \beta_{2A}$ на нижние точки ABC и $\beta_{1c}, \beta_{1a}, \beta_{1b}$ и $\beta_{2c}, \beta_{2b}, \beta_{2a}$ на верхние точки abc . Дальнейшие вычисления ведут в условно выбранной системе прямоугольных координат, в которой направление оси X перпендикулярно базису $1-2$, ось Y совпадает с направлением базиса, начало координат выбирается в точке 1 ($X_1 = 0, Y_1 = 0$), а точка 2 имеет координаты $X_2 = 0, Y_2 = B$. Исходя из этого формулы для вычисления прямоугольных координат нижних и верхних точек башни будут иметь вид:

$$\begin{aligned} X_A &= \frac{B \sin \beta_{2A} \sin \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, & X_B &= \frac{B \sin \beta_{2B} \sin \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, & X_C &= \frac{B \sin \beta_{2C} \sin \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})}, \\ Y_A &= \frac{B \sin \beta_{2A} \cos \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, & Y_B &= \frac{B \sin \beta_{2B} \cos \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, & Y_C &= \frac{B \sin \beta_{2C} \cos \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})}, \\ X_a &= \frac{B \sin \beta_{2a} \sin \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, & X_b &= \frac{B \sin \beta_{2b} \sin \beta_{1b}}{\sin(\beta_{1b} + \beta_{2b})}, & X_c &= \frac{B \sin \beta_{2c} \sin \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})}, \\ Y_a &= \frac{B \sin \beta_{2a} \cos \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, & Y_b &= \frac{B \sin \beta_{2b} \cos \beta_{1b}}{\sin(\beta_{1b} + \beta_{2b})}, & Y_c &= \frac{B \sin \beta_{2c} \cos \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})}. \end{aligned} \quad (29)$$

В равносторонних треугольниках ABC и abc координаты ортоцентров O_H и O_B находят как:

$$\begin{aligned} X_{OH} &= \frac{X_A + X_B + X_C}{3}, & Y_{OH} &= \frac{Y_A + Y_B + Y_C}{3}, \\ X_{OB} &= \frac{X_a + X_b + X_c}{3}, & Y_{OB} &= \frac{Y_a + Y_b + Y_c}{3}. \end{aligned} \quad (30)$$

По координатам ортоцентров O_H, O_B и вершин ABC, abc путем решения обратных геодезических задач определяют величину крена K , его направление и угол скручивания φ .

При необходимости координаты вершин треугольников и их ортоцентров могут быть пересчитаны в другую систему координат по существующим формулам перехода из одной системы координат в другую.

На практике, при наблюдении за сооружениями башенного типа способом прямой угловой засечки в условиях плотной застройки, бывает трудно вы-

брать такое местоположение базисных точек 1 и 2 , которое, помимо прочего, обеспечивало бы взаимную видимость между ними. В этом случае между базисными точками прокладывают ломаный ход $1 - 3 - 4 - 2$ и путем решения обратной геодезической задачи вычисляют длину замыкающей (длину базиса B засечки) и ее дирекционный угол в принятой системе координат.

В дальнейшем в очередном цикле наблюдений измеряют горизонтальные углы α_1 и α_2 , вводят в них поправки $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$, получая тем самым углы засечки β_1 и β_2 . Указанные поправки находят как разность дирекционных углов ориентирных направлений $1 - 3$, $2 - 4$ и дирекционного угла базиса. В свою очередь угол засечки γ может быть найден как $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ или $\gamma = 180^\circ(n - 1) - \sum \alpha_i$. Аналогичным образом могут быть организованы наблюдения многократной засечкой.

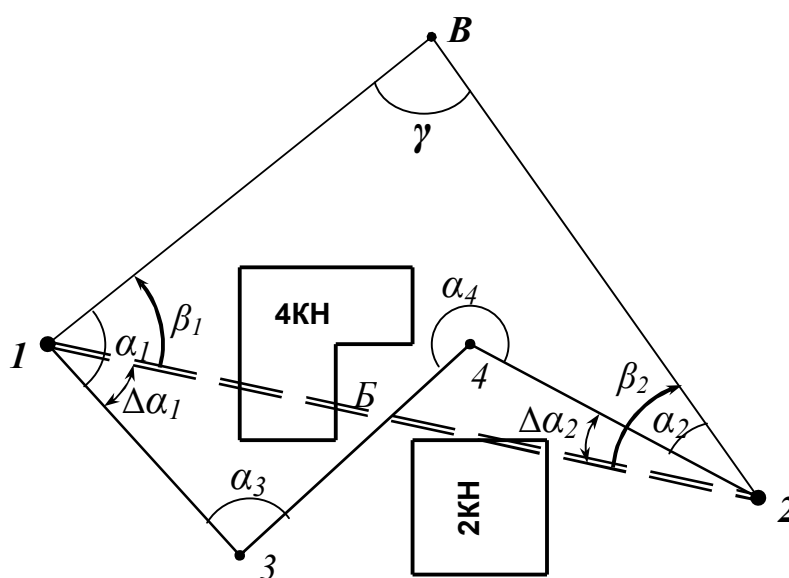


Рис. 34. Схема косвенного определения углов засечки

В работе [27] предлагается на световых площадках, на выбранных заранее сечениях закреплять по направлениям осей X и Y стационарно, вплотную к телу трубы, отражатели $0, 1, 2, 3, 4$, а на тумбах в точках 1 и 2 поочередно устанавливать тахеометр, с помощью которого измерять соответствующие наклонные расстояния S_i и вертикальные углы (современные электронные тахеометры вместо вертикальных углов измеряют зенитные расстояния, как показано на рис. 35, а). По этим данным можно вычислить горизонтальные проложения D_i и прибавить к каждому из них соответствующий радиус трубы R_i . Разности полученных значений между собой дадут величину частных или общего крена трубы по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Современные электронные тахеометры позволяют измерять расстояния без отражателя (пленки или призмы) до 200-500 и более метров с точностью 1-3 мм плюс приборная поправка $2 \times 10^{-6} \times D$. В данном случае достаточно установить

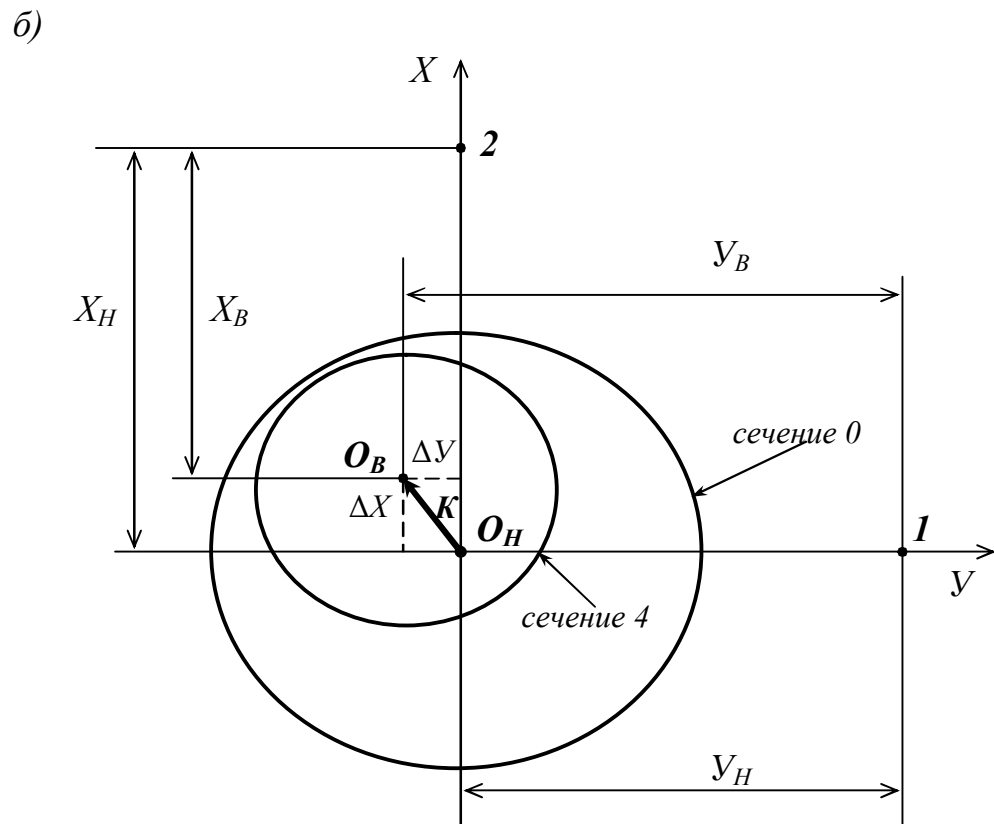
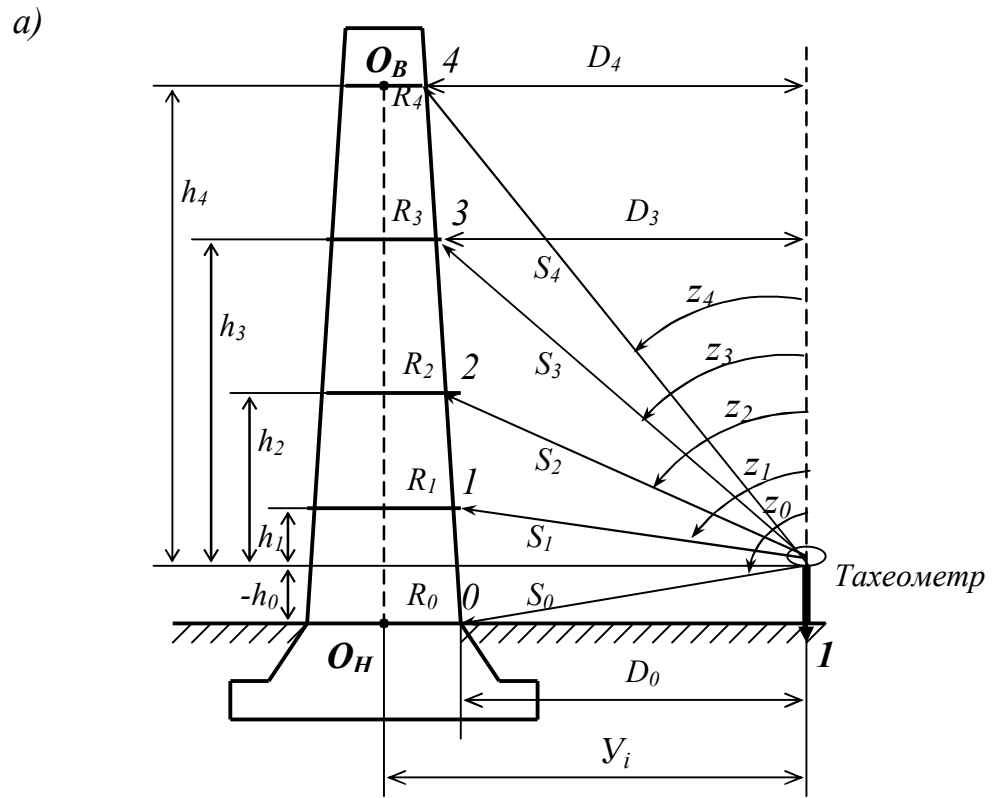


Рис. 35. Схемы к определению крена сооружения электронным тахеометром

такой тахеометр, например, в точке I (рис. 35, *a*) и, визируя последовательно на точки $0, 1, \dots, 4$ при включенном соответствующем режиме измерений, сразу получают на экране дисплея на каждую наблюдаемую точку наклонное расстояние (S), горизонтальное проложение (D) и превышение (h). Аналогичные измерения проводят с точки 2 . Прибавляя к полученным значениям (D) соответствующие радиусы трубы R_i , находят расстояния X_i и Y_i от опорных точек I и 2 до центра трубы (рис. 35, *б*). По разностям этих расстояний, как было сказано выше, находят величину частных или общего крена трубы. Так, например, общий крен K трубы и его направление (рис. 35, *б*) можно найти аналитически, путем решения обратной геодезической задачи по координатам X_H, Y_H и X_B, Y_B нижнего O_H и верхнего O_B центров трубы.

Крен трубы K и его направление (рис. 35, *б*) можно также найти путем простых графических построений. Для этого достаточно на осях прямоугольной системы координат XO_HY отложить в крупном масштабе отрезки ΔX и ΔY с учетом их знака, равные соответственно разностям $X_H - X_B$ и $Y_H - Y_B$, и измерить величину и направление крена.

Следует сказать, что в каждом цикле наблюдений (при однообразном положении тахеометра на тумбах 1 и 2 за счет принудительного центрирования) можно контролировать правильность наведения на точки $0, 1, \dots, 4$ по значениям превышений (h) на экране дисплея.

7. Односторонний способ координат

Способность современных электронных тахеометров выдавать на экран дисплея пространственные координаты наблюдаемых точек позволяет реализовать односторонний способ определения крена. Его сущность заключается в следующем (рис. 36). С опорной точки I определяют тахеометром условные координаты ΔX и Y_4 точки 4 в системе координат XO_HY . Вычисляют $\Delta Y = Y_4 - Y_{4np}$ и по значениям ΔX и ΔY находят крен K и его направление.

Однако описанные выше способ [27] и возможные варианты его модификации в своей основе имеют один существенный недостаток. Он заключается в том, что практически невозможно расположить точки $0, 1, \dots, 4$ одновременно по направлению координатной оси и на диаметре трубы, совпадающим с направлением этой оси. Поэтому односторонний способ определения крена электронным тахеометром можно выполнить следующим образом.

В опорной точке I , расположенной на расстоянии $1,5-3,0H$ от трубы в месте, с которого виден её верх и низ, устанавливают тахеометр. Визируя и беря отсчеты по горизонтальному кругу на левую и правую образующие трубы в её нижнем сечении, находят средний отсчет, по которому на трубе отмечают точку 0 . На уровне этой точки измеряют периметр трубы $2\pi R_0$ и вычисляют её радиус R_0 . Измеряют расстояние $I-0 = Y_0$, прибавив к которому R_0 , получают координаты нижнего O_H центра трубы $X = 0, Y = Y_H$. Находят проектные координаты точки 4_{np} , а именно $X_{4np} = 0, Y_{4np} = Y_H - R_4$.

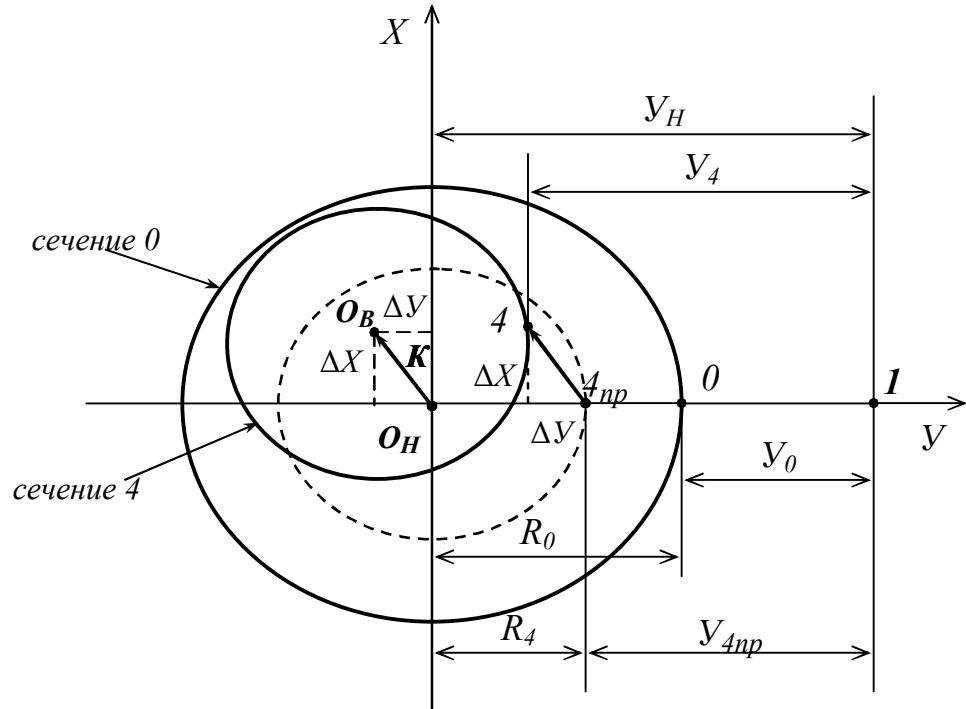


Рис. 36. Схема одностороннего способа определения крена электронным тахеометром

Визируя и беря отсчеты по горизонтальному кругу на левую и правую образующие трубы в её верхнем сечении 4, находят средний отсчет, соответствующий направлению на центр O_B этого сечения и устанавливают его на горизонтальном круге. По этому направлению измеряют горизонтальное проложение $I-a = D_4$, а затем координаты $\Delta X_{изм}$ и $Y_{изм}$ точки a в системе координат $XO_H Y$. По этим данным вычисляют $\Delta Y_{изм} = Y_{изм} - Y_{4np}$ и определяют ΔX по формуле

$$\Delta X = \Delta X_{изм} \left(1 + \frac{R_4}{D_4}\right). \quad (31)$$

Приняв $\Delta Y \approx \Delta Y_{изм}$, вычисляют путем решения обратной геодезической задачи величину K крена и его направление. Аналогичным образом можно определить частные крены при наблюдениях любого сечения трубы, радиус которого участвует в определении $1_{np}, 2_{np}, 3_{np} \dots$. По этой методике можно вообще обойтись без предварительной маркировки точек $1, \dots, 4$.

Односторонний координатный способ определения крена башни четырехугольной формы с использованием электронного тахеометра может осуществляться следующим образом (рис. 38).

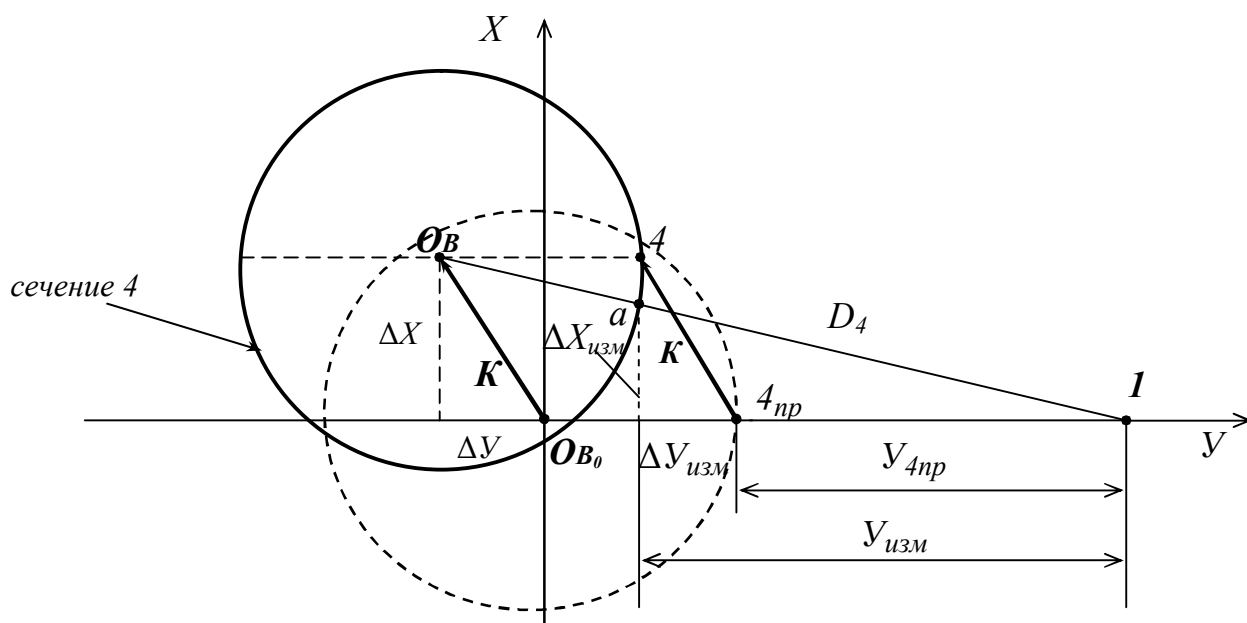


Рис. 37. Схема практического выполнения одностороннего способа определения крена электронным тахеометром

Выбирают для удобства условную систему прямоугольных координат, в которой ось абсцисс X параллельна одной из сторон башни BA , магнитный азимут которой определяют заранее.

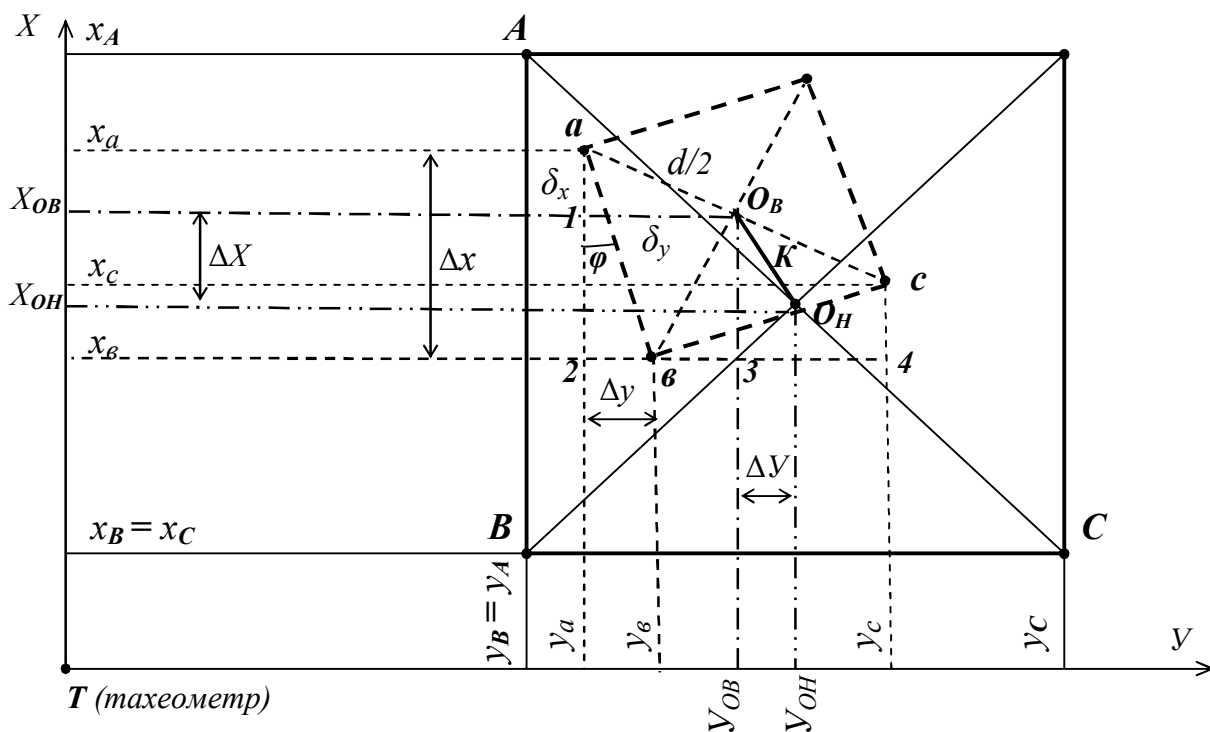


Рис. 38. Схема одностороннего способа определения электронным тахеометром крена башни квадратной формы

Устанавливают тахеометр в некоторой точке T , расположенной на расстоянии $1,5-3,0H$ от башни. Ориентируют визирную ось зрительной трубы по буссоли параллельно стороне BA и в режиме координатных измерений вводят исходные данные: координаты станции $X_0 = 0, Y_0 = 0, H_0 = 0$; высоту инструмента $Выс-И = 0$; высоту визирной цели $Выс-Ц = 0$; дирекционный угол $\GammaУ = 0^0$. После этого измеряют прямоугольные координаты и высоту нижних точек A и B ($x_A, x_B, y_A, y_B, h_A, h_B$) и верхних точек a и b ($x_a, x_b, y_a, y_b, h_a, h_b$) относительно точки пересечения оси вращения тахеометра с осью вращения трубы. При должной организации работ координаты y_A и y_B должны быть одинаковые, а разность координат x_A и x_B должна равняться длине стороны башни AB .

Вычисляют координаты центра O_H нижнего наблюдаемого сечения:

$$x_{O_H} = \frac{x_A + x_B}{2}, \quad y_{O_H} = \frac{y_A + y_B}{2} + \frac{BC}{2}. \quad (32)$$

Если координаты y_a и y_b одинаковые, а разность координат x_a и x_b равняется длине стороны башни ab , то координаты центра O_B верхнего наблюдаемого сечения равны:

$$x_{O_B} = \frac{x_a + x_b}{2}, \quad y_{O_B} = \frac{y_a + y_b}{2} + \frac{ac}{2}. \quad (33)$$

Если координаты y_a и y_b не равны между собой, то имеет место скручивание верха башни относительно её низа на угол φ (рис. 38), который можно определить из треугольника $ab2$ по формулам

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b}, \quad \sin \varphi = \frac{\Delta y}{ab}, \quad \cos \varphi = \frac{\Delta x}{ab}, \quad (34)$$

где Δx – всегда величина положительная, а Δy может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от направления скручивания.

На рис. 38 значение Δy имеет знак «минус». В этом случае координаты центра O_B верхнего наблюдаемого сечения равны:

$$x_{O_B} = x_a - \delta_x, \quad y_{O_B} = y_a + \delta_y, \quad (35)$$

где δ_x и δ_y представляют собой катеты прямоугольного треугольника $1aO_B$, в котором угол $1-a-O_B = (45^0 + \varphi)$, поэтому:

$$\delta_x = \frac{d}{2} \cos(45^\circ + \varphi), \quad \delta_y = \frac{d}{2} \sin(45^\circ + \varphi), \quad (36)$$

а при положительном значении Δy необходимо в этой формуле использовать угол $(45^\circ - \varphi)$.

Если для контроля измерены еще и координаты точек C и c , то путем решения прямоугольного треугольника bcA можно определить вторично угол скручивания φ , а из решения прямоугольного треугольника $3bO_B$ найти его катеты и вычислить координаты центра O_B верхнего наблюдаемого сечения как: $x_{O_B} = x_b + O_B3$, $y_{O_B} = y_b + b3$. При отсутствии угла скручивания φ координаты центров нижнего и верхнего наблюдаемых сечений равны соответственно: $x_{O_H} = 0,5(x_A + x_B)$, $y_{O_H} = 0,5(y_B + y_C)$, $x_{O_B} = 0,5(x_a + x_b)$, $y_{O_B} = 0,5(y_b + y_c)$.

Наконец, если башенное сооружение имеет прямоугольную (не квадратную) форму, то в приведенной выше формуле (36) вместо 45° следует использовать угол $\alpha - \beta - \gamma = \arcsin bc/d = \arccos ab/d$, где d – диагональ этого прямоугольника.

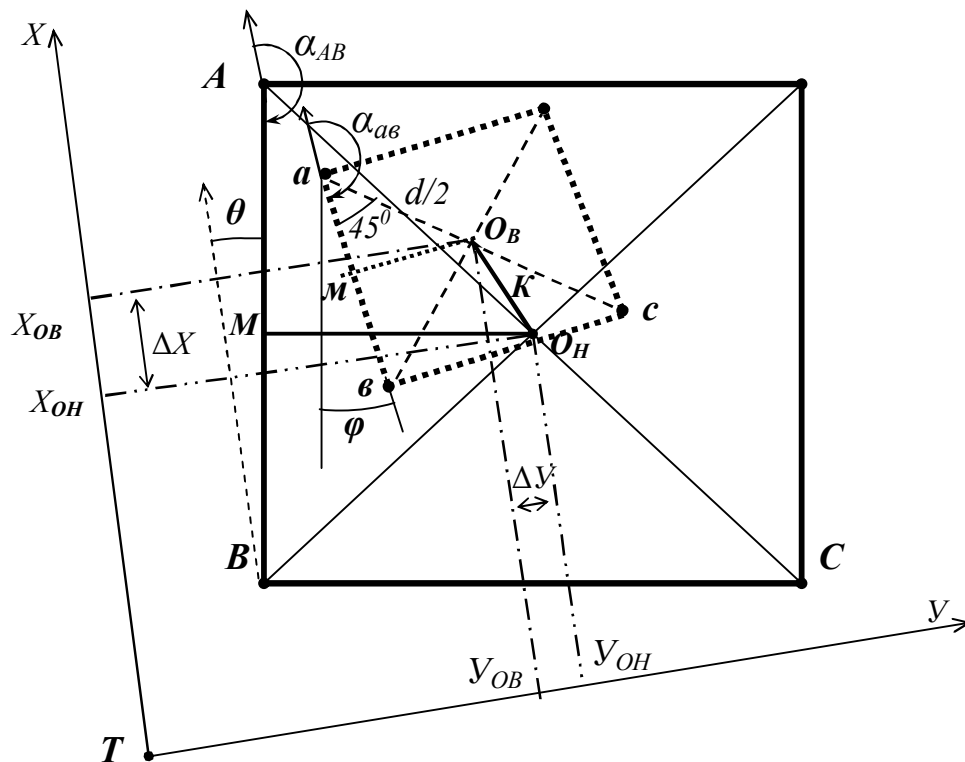


Рис. 39. Схема к определению крена башни квадратной формы в произвольной системе координат

По координатам центров O_B верхнего и O_H нижнего наблюдаемых сечений вычисляют ΔX и ΔY и по их значениям находят крен K и его направление.

Вообще говоря, координатные измерения в рассмотренном одностороннем способе могут выполняться в любой произвольной системе XTY (рис. 39),

развернутой относительно осей сооружения на некоторый угол θ . Допустим, что в этой системе электронным тахеометром определены прямоугольные координаты нижних точек A и B (x_A, x_B, y_A, y_B) и верхних точек a и b (x_a, x_b, y_a, y_b).

Путем решения обратных геодезических задач находят дирекционные углы α_{AB} и α_{ab} , разность которых будет равна углу скручивания $\varphi = \alpha_{ab} - \alpha_{AB}$, причем отрицательное значение этой разности означает скручивание влево (как на рис. 39), положительное – вправо.

Теперь координаты центров O_H нижнего и O_B верхнего наблюдаемых сечений можно вычислить следующим образом. Вначале находят координаты $x_M = 0,5(x_A + x_B)$, $y_M = 0,5(y_A + y_B)$, $x_m = 0,5(x_a + x_b)$, $y_m = 0,5(y_a + y_b)$ средних точек M и m сторон AB и ab , а затем вычисляют координаты центров:

$$\begin{aligned} x_{O_H} &= x_M + MO_H \cos(\alpha_{AB} - 90^\circ), & y_{O_H} &= y_M + MO_H \sin(\alpha_{AB} - 90^\circ), \\ x_{O_B} &= x_m + mO_B \cos(\alpha_{ab} - 90^\circ), & y_{O_B} &= y_m + mO_B \sin(\alpha_{ab} - 90^\circ), \end{aligned} \quad (37)$$

где MO_H и mO_B – половина соответствующей стороны башни понизу и поверху.

Координаты центров могут быть вычислены через диагонали нижнего и верхнего четырехугольников. Если эти четырехугольники представляют собой квадраты, то формулы для координат центров имеют вид:

$$\begin{aligned} x_{O_H} &= x_A + AO_H \cos(\alpha_{AB} - 45^\circ), & y_{O_H} &= y_A + AO_H \sin(\alpha_{AB} - 45^\circ), \\ x_{O_H} &= x_B + BO_H \cos(\alpha_{AB} - 135^\circ), & y_{O_H} &= y_B + BO_H \sin(\alpha_{AB} - 135^\circ), \\ x_{O_B} &= x_a + aO_B \cos(\alpha_{ab} - 45^\circ), & y_{O_B} &= y_a + aO_B \sin(\alpha_{ab} - 45^\circ), \\ x_{O_B} &= x_b + bO_B \cos(\alpha_{ab} - 135^\circ), & y_{O_B} &= y_b + bO_B \sin(\alpha_{ab} - 135^\circ). \end{aligned} \quad (38)$$

Для башенного сооружения прямоугольной (не квадратной) формы в формулах (38) вместо 45° следует использовать угол, подсчитанный как показано выше.

Если в дополнение к точкам A, B и a, b измерены еще и координаты точек C и c , то путем сравнения дирекционных углов сторон BC и bc , можно вторично определить угол скручивания φ , а по аналогии с формулами (37) и (38) дополнительно вычислить координаты нижнего и верхнего центров через средние точки сторон BC и bc , или координаты точки C , или найти их как координаты средних точек диагоналей AC и ac , то есть $x_{O_H} = 0,5(x_A + x_C)$, $y_{O_H} = 0,5(y_A + y_C)$, $x_{O_B} = 0,5(x_a + x_c)$, $y_{O_B} = 0,5(y_a + y_c)$.

Односторонний координатный способ определения крена башни треугольной формы с использованием электронного тахеометра может осуществляться следующим образом. Допустим, что в произвольной системе XTY (рис. 40), развернутой относительно осей сооружения на некоторый угол, определены прямоугольные координаты нижних точек A и B (x_A, x_B, y_A, y_B) и верхних точек a и b (x_a, x_b, y_a, y_b) башни.

Путем решения обратных геодезических задач находят дирекционные углы α_{AB} и α_{ab} , разность которых будет равна углу скручивания $\varphi = \alpha_{ab} - \alpha_{AB}$, причем отрицательное значение этой разности означает скручивание влево (как на рис. 40), положительное – вправо.

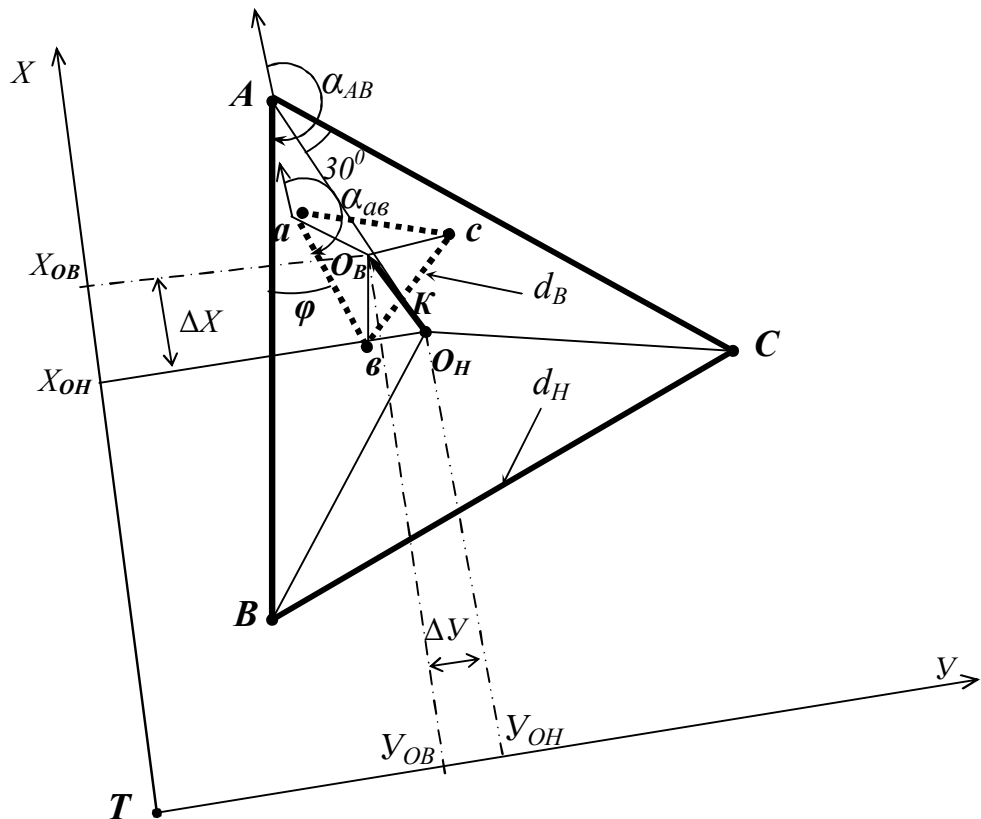


Рис. 40. Схема к определению крена башни треугольной формы в произвольной системе координат

Координаты центров O_H нижнего и O_B верхнего наблюдаемых сечений могут быть вычислены через медианы нижнего и верхнего треугольников:

$$x_{O_H} = x_A + AO_H \cos(\alpha_{AB} - 30^\circ), \quad y_{O_H} = y_A + AO_H \sin(\alpha_{AB} - 30^\circ),$$

$$\begin{aligned}
 x_{O_H} &= x_B + BO_H \cos(\alpha_{AB} - 120^\circ) , & y_{O_H} &= y_B + BO_H \sin(\alpha_{AB} - 120^\circ) , & (39) \\
 x_{O_B} &= x_a + aO_B \cos(\alpha_{ab} - 30^\circ) , & y_{O_B} &= y_a + aO_B \sin(\alpha_{ab} - 30^\circ) , \\
 x_{O_B} &= x_b + bO_B \cos(\alpha_{ab} - 120^\circ) , & y_{O_B} &= y_b + bO_B \sin(\alpha_{ab} - 120^\circ) ,
 \end{aligned}$$

где медианы $AO_H = BO_H = CO_H = \frac{d_H \sqrt{3}}{2}$, $aO_B = bO_B = cO_B = \frac{d_B \sqrt{3}}{2}$, а d_H и d_B представляют собой длину сторон нижнего и верхнего треугольников.

Если в дополнение к точкам A , B и a , b измерены еще и координаты точек C и c , то путем сравнения дирекционных углов сторон BC и bc , AC и ac можно еще дважды определить угол скручивания φ , а по аналогии с формулами (39) дополнительно вычислить координаты нижнего и верхнего центров через координаты точки C , или найти их как среднее арифметическое:

$$\begin{aligned}
 X_{OH} &= \frac{X_A + X_B + X_C}{3} , & Y_{OH} &= \frac{Y_A + Y_B + Y_C}{3} , & (40) \\
 X_{OB} &= \frac{X_a + X_b + X_c}{3} , & Y_{OB} &= \frac{Y_a + Y_b + Y_c}{3} .
 \end{aligned}$$

Затем, путем решения обратной геодезической задачи, вычисляют величину и направление крена K башни.

8. Определение крена с помощью приборов вертикального проектирования

Такие приборы предназначены для формирования в пространстве отвесной визирной оси (приборы типа Зенит-ОЦП, ПОВП, ПВП-Т, ПВП-В, PZL) или отвесного лазерного луча (лазерные ОЦП типа ЛЗЦ-1, LL-132, APLO-КРЗ). К ним также можно отнести различные, в том числе и ротационные лазерные системы. В отвесное положение визирная ось или лазерный луч приводятся либо по точному уровню, либо автоматически с помощью оптико-механических стабилизаторов. При благоприятных условиях наблюдений оптические приборы вертикального проектирования обеспечивают точность 1-2 мм на 100 м. Точность лазерных приборов составляет в среднем 15 мм на 300 м, а дальность проектирования может достигать 600 м и более.

Из современных приборов вертикального проектирования назовём оптический прибор FG-L100 и лазерный прибор LV1 (рис. 41).

Прибор FG-L100 является аналогом известного PZL-100. Прибор LV1 имеет лазерный луч видимого диапазона, что позволяет исполнителю наблюдать пересечение лучом плоскостей на расстоянии до 100 м. Диаметр лазерного пятна на таком расстоянии (в зенит) равен 7 мм. Центрирование прибора осуществляется встроенным лазерным центриром на расстояние (в надир) до 5 м при диаметре лазерного пятна 2 мм.

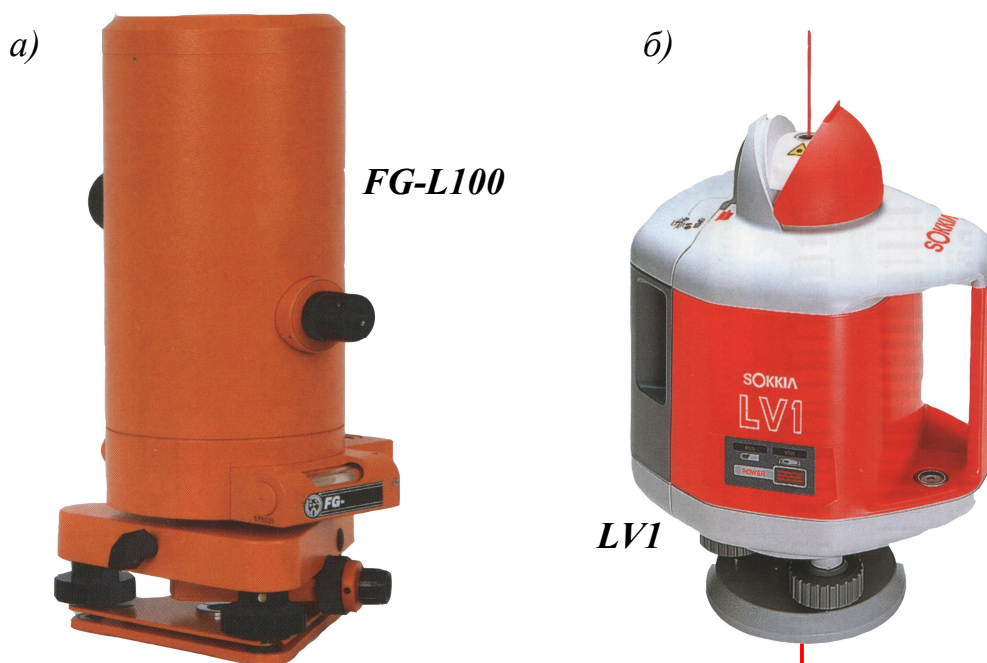


Рис. 41. Приборы вертикального проектирования *FG-L100* (а) и *LVI* (б)

Рассмотрим методику контроля вертикальности сооружения башенного типа в процессе его монтажа и в период эксплуатации на примере стандартной башни высотой 72,5 м, имеющей в плане форму равностороннего треугольника со стороной 10,5 м внизу и 2,5 м поверху.

Перед началом монтажа такой башни необходимо закрепить на нулевом горизонте (отм. 0,0 м) опорную точку P так, чтобы она располагалась на одной из осей башни с возможностью переноса планового положения этой точки на все монтажные горизонты. Большое количество раскосов, распорок, шпренгелей, наличие фидерной лестницы с электрокабелями ограничивает область расположения опорной точки. Для установления этой области следует совместить все проектные поперечные сечения башни на различных монтажных горизонтах (рис. 42).

Такая же область четко прослеживается на фотографии башни (рис. 43), выполненной с нулевого горизонта, на которой также видны все элементы пространственной конструкции, фидерная лестница, электрокабели и др.

Методика контроля вертикальности башни при ее монтаже заключается в следующем. В опорной точке P , расположенной, например, на оси OC на известном расстоянии OP от ортоцентра O треугольника ABC основания башни (рис. 44) устанавливают прибор вертикального проектирования. С его помощью проектируют точку P на монтажный горизонт и отмечают эту проекцию точкой P' .

От этой точки измеряют расстояния $P'1$, $P'2$, $P'3$ и сравнивают их с проектными значениями, которые для каждого монтажного горизонта могут быть вычислены по формулам:

$$P'1 = \frac{av}{2\sqrt{3}} - OP, \quad P'2 = P'3 = \frac{1}{2} \left(\frac{av}{\sqrt{3}} + OP \right), \quad (41)$$

где $av = bc = ac$ – длина стороны треугольника на отдельном монтажном горизонте; OP – величина постоянная.

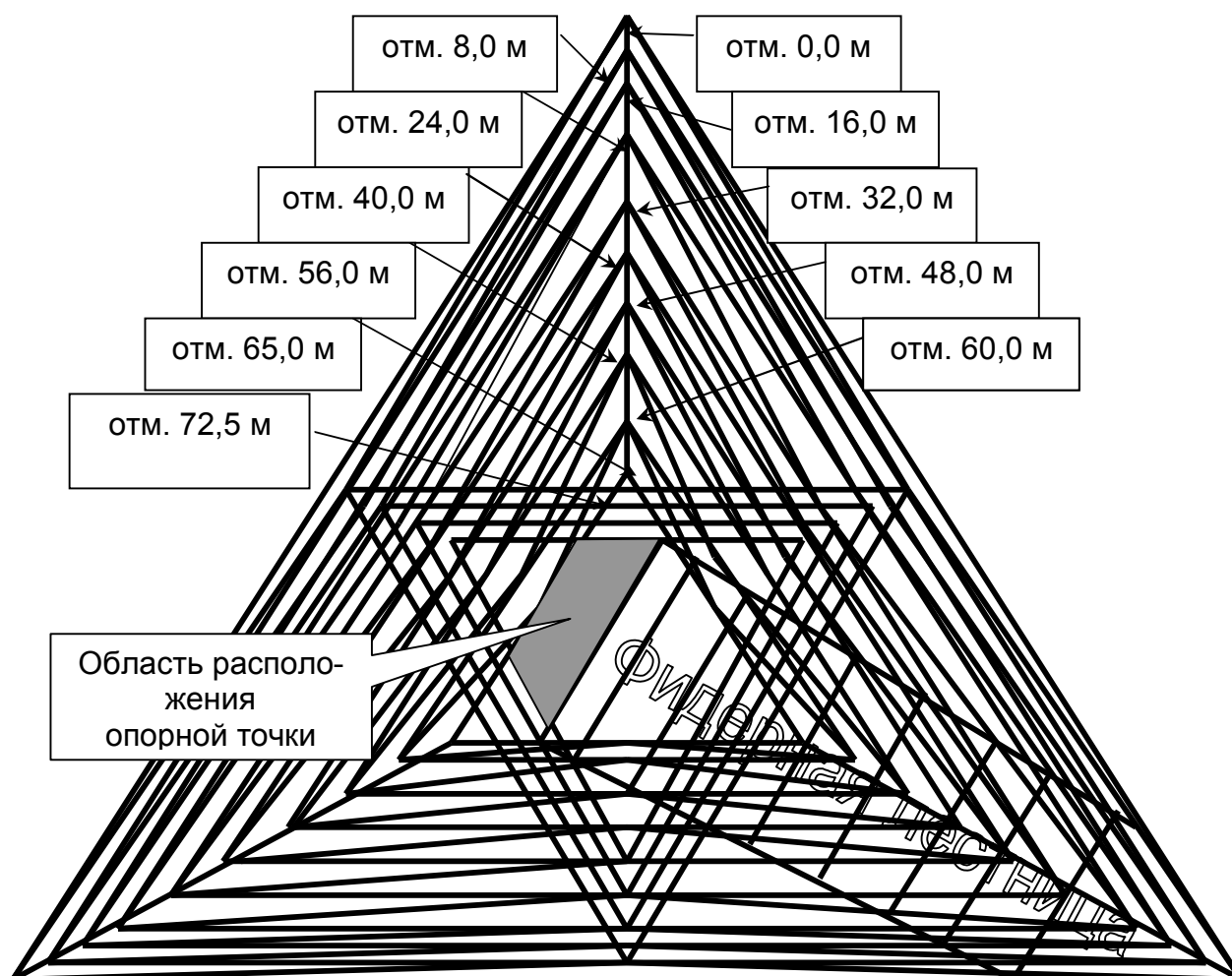


Рис. 42. Совмещенные проектные поперечные сечения башни

Точка I расположена посередине отрезка ab , а точки 2 и 3 , до которых следует измерять расстояния от точки P' , находятся на одинаковом расстоянии от точки c , а именно:

$$c2 = c3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{av}{\sqrt{3}} + OP \right). \quad (42)$$

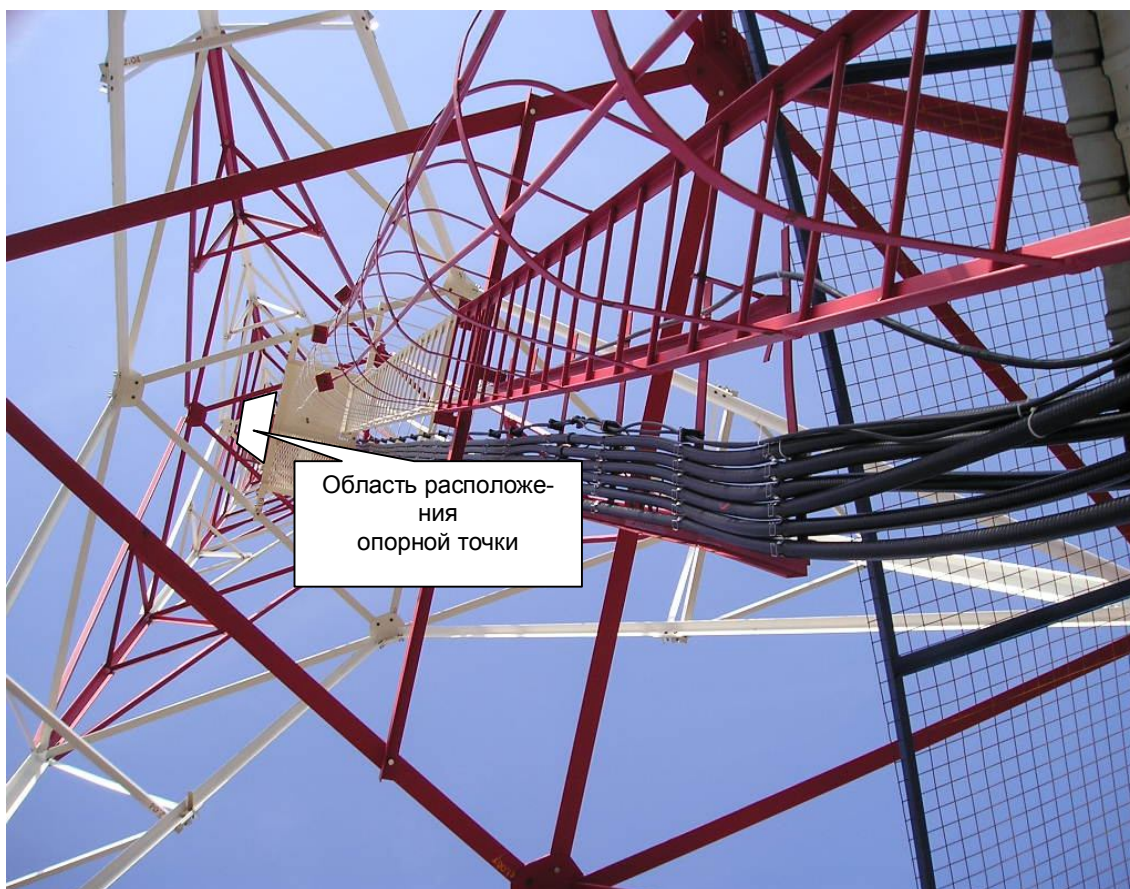


Рис. 43. Фотография башни (вид снизу)

Вместо расстояний $P'1$, $P'2$, $P'3$ или в дополнение к ним могут измеряться расстояния $P'a$, $P'в$, $P'с$, проектная величина которых вычисляется по формулам:

$$P'a = P'в = \sqrt{\frac{(ав)^2 - (ав)(OP)\sqrt{3}}{3} + (OP)^2}, \quad P'с = \frac{ав}{\sqrt{3}} + OP. \quad (43)$$

Вообще говоря, эти расстояния могут быть измерены и без отмечания точки P' на монтажном горизонте. Для этого достаточно приложить последовательно горизонтально нивелирную рейку своей пяткой к точкам 1 , 2 , 3 или $а$, $в$, $с$ и взять по ней отсчеты по вертикальному визирному лучу или лазерному пучку.

Если измеренные расстояния $P'1$, $P'2$, $P'3$ или $P'a$, $P'в$, $P'с$ не соответствуют их проектным значениям, то имеет место крен башни, то есть ортоцентр O нижнего треугольника ABC и ортоцентр O' треугольника $авс$ монтажного горизонта не находятся на одной вертикали (рис. 45).

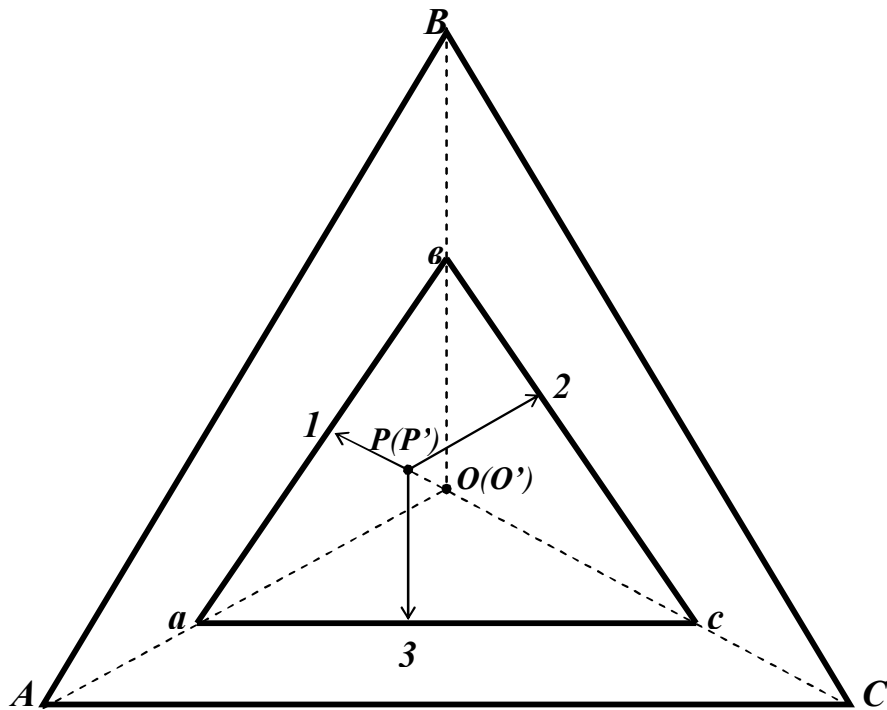


Рис. 44. Схема контроля вертикальности башни с помощью опорной точки P

Примем условную систему координат, в которой начало совпадает с ортоцентром O , а направление оси абсцисс X совпадает с осью башни OB . Тогда величину крена OO' и румб r , характеризующий направление крена можно вычислить по формулам

$$OO' = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad r = \arctg \frac{Y}{X}. \quad (44)$$

В формулы (44) в качестве X и Y следует подставлять их значения, которые вычисляются следующим образом:

$$X = \frac{OP}{2} + \frac{av}{2\sqrt{3}} - P3, \quad Y = Pc * \cos\beta - \frac{\sqrt{3}}{2} OP - \frac{av}{2}, \quad \beta = \arcsin \frac{P3}{Pc}. \quad (45)$$

По формуле (44) определяют величину румба r , а знаки координат X и Y укажут направление крена относительно оси OB , принятой за ось X .

Следует сказать, что все предыдущие выкладки основывались на предположении, что скручивание верхней части сооружения относительно его основания отсутствует.

проекция P' визирной оси прибора на горизонтальной плоскости относительно опорной точки P можно судить о величине и направлении крена между циклами наблюдений.

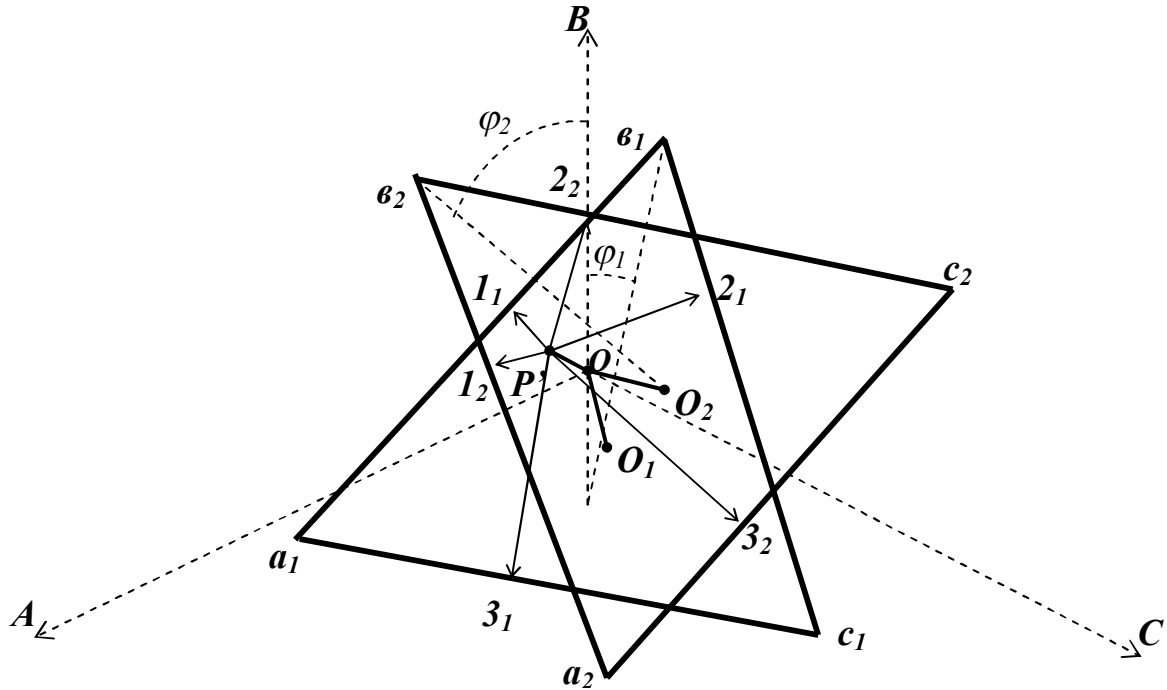


Рис. 46. Влияние угла скручивания на крен башни

Для одновременного определения величины крена башни, его направления и угла скручивания необходимо иметь, как минимум, две опорных точки P_1 и P_2 (рис. 47). Для удобства их следует располагать на линии перпендикулярной оси OC на одинаковом расстоянии от этой оси. В этом случае, спроектировав опорные точки на монтажный горизонт, измеряют от их проекций P'_1 и P'_2 расстояния до точек $1, a, 4$ и $2, b, 3$. Равенство расстояний $P'_1 1 = P'_2 2$ говорит об отсутствии скручивания сооружения, а равенство всех расстояний их проектным значениям означает отсутствие крена башни.

Проектные расстояния для отдельного монтажного горизонта можно вычислить по формулам

$$P'_1 1 = P'_2 2 = \frac{ae}{2\sqrt{3}} - OP, \quad a1 = b2 = \frac{ae - P'_1 P'_2}{2},$$

$$P'_1 4 = P'_2 3 = \frac{ae}{2\sqrt{3}} + \frac{1}{2} OP - \frac{\sqrt{3}}{4} P'_1 P'_2, \quad a4 = b3 = \frac{ae}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} OP - \frac{P'_1 P'_2}{4}, \quad (46)$$

$$P'_1 a = P'_2 b = \sqrt{\left(\frac{ae}{2} - \frac{P'_1 P'_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{ae}{2\sqrt{3}} - OP\right)^2}.$$

При проверке вертикальности сооружений высотой более 100 м может возникнуть вопрос о выборе способа вертикального проектирования – сквозного на всю высоту H сооружения или ступенчатого. В этом случае можно воспользоваться нашей формулой, приведенной в работах (Шеховцов Г.А. *Ступенчатый способ вертикального проектирования // Промышленное строительство. –1974, –№ 1. – С. 43 – 44; Шеховцов Г.А. Выбор способа вертикального проектирования // «Геодезия, картография и аэрофотосъемка». –1975, вып. 21. – С. 74 – 76*):

$$n = \frac{H}{\rho} \sqrt{\frac{m_H^2 + m_B^2}{m_{Ц}^2 + m_{Ф}^2}}, \quad (49)$$

где n – количество ступеней проектирования; $m_{Ц}$ – ошибка центрирования зенит-прибора над постоянным пунктом; $m_{Ф}$ – ошибка фиксации проектируемой точки; m_H – ошибка приведения оси прибора в отвесное положение; m_B – ошибка визирования. Для приборов типа PZL можно принять: $(m_{Ц}^2 + m_{Ф}^2) = 1 \text{ мм}^2$, $m_H = 4''$, $m_B = 2''$.

Если при расчетах по формуле (49) получается $n \leq 1$, то проектирование рекомендуется производить сквозным методом. При $1 < n < 2$ проектирование можно осуществлять как сквозным, так и ступенчатым способом. При $n \geq 2$ рекомендуется применять только ступенчатый способ вертикального проектирования.

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительными конструкциями, определяющими устойчивость зданий и сооружений промышленного предприятия, являются стены, колонны, балки, фермы и т. д. Исследование их пространственного положения предусматривает выполнение различного вида геодезических измерений (рис. 48):

- определение расстояний между фермами покрытия зданий L_1 , между колоннами в ряду L_2 и пролете L_3 , между подкрановыми рельсами мостовых кранов L_4 ;
- определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн;
- определение стрелы прогиба конструкций;
- проверка прямолинейности подкрановых рельсов, вертикальности и соосности колонн;
- привязка геодезических отметок строительных конструкций к Государственной высотной системе и др.

Решающими факторами, оказывающими влияние на выбор той или иной методики геодезической съемки строительных конструкций, является, во-первых, их доступность, обусловленная степенью насыщенности производст-

венных помещений технологическим оборудованием, что затрудняет производство геодезических измерений на уровне пола цеха. Во-вторых, необходимость производства измерений на уровне оголовка колонн или на уровне подкрановых рельсов, требует выхода наблюдателя на крановый путь или его подъема к оголовку колонн, что небезопасно и сопряжено со значительными трудностями. И, как правило, производственным корпусам присущи специфические условия: загазованность, высокая температура, конвекционные потоки воздуха, наличие токопроводов вблизи подкрановой балки, вибрация.



Рис. 49. Один из производственных корпусов

При исследовании пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений могут применяться прямые и косвенные виды геодезических измерений, в которых измеряемые величины могут быть получены непосредственно или дистанционно [42].

Применение лазерных рулеток типа Disto (A2, A3, A5, A6, A8), MM 30/100, LEM, DLE, PD 10, PD 20, HD 150, DLE 50 и др. позволяет значительно упростить и ускорить процесс выполнения непосредственных линейных измерений. В работе [34] показаны примеры использования лазерной рулетки PD 20 фирмы HILTI для выполнения следующих видов работ: определение расстояний между осями ферм в середине пролета; определение расстояний между внутренними гранями колонн в пролете и в ряду; определение ширины колеи кранового пути; передача отметки с пола цеха на мост крана; определение вертикальности колонн и стен лазерной рулеткой в сочетании со шнуровым отвесом и т.п., о чем будет сказано в соответствующих разделах монографии.

Однако здесь, как отмечалось выше, основная трудность заключается в доставке рулетки в точки замера, которые, помимо прочего, располагаются на уровне оголовка колонн и подкрановых рельсов. Это требует выхода персонала на крановый путь или его подъема к оголовку колонн. Для устранения этого недостатка авторами монографии был разработан лазерно-зеркальный способ для производства таких измерений дистанционно [35].

1. Лазерно-зеркальное устройство для дистанционных измерений

Сущность лазерно-зеркального устройства (ЛЗУ) заключается в том, что с помощью удлинительной штанги в точках замера устанавливается плоское зеркало, расположенное под углом 45° к направлению лазерного пучка рулетки, которая также закреплена на штанге на известном расстоянии S от зеркала (рис. 50).

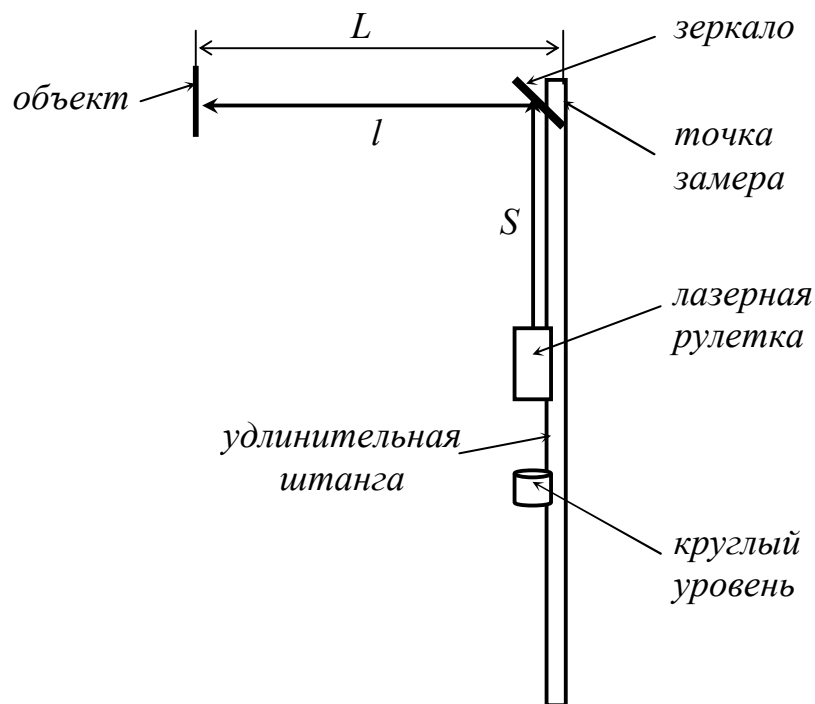


Рис. 50. Лазерно-зеркальное устройство (ЛЗУ)

В результате измерений на дисплее рулетки высвечивается расстояние, равное сумме двух отрезков—от рулетки до зеркала S и от зеркала до объекта l .

Для реализации лазерно–зеркального способа был изготовлен действующий макет ЛЗУ, в котором в качестве удлинительной штанги использовалась обычная нивелирная рейка, на которой были закреплены круглый уровень, лазерная рулетка HD 150 фирмы Trimble и плоское зеркало от проектора «Полюкс» с размерами 80x120 мм и толщиной 3 мм. Рулетка HD 150 предназначена для измерения расстояний от 0,3 до 30 м без отражателя и до 150 м – с отражателем. Вес рулетки 430 г (с батарейками типа АА), ее размеры 170x70x46 мм, она снабжена цилиндрическим уровнем.

Устройство ЛЗУ работает следующим образом. С помощью удлинительной штанги устанавливают зеркало в точке замера (рис. 50). Включают рулетку и направляют отраженный от зеркала лазерный пучок непосредственно на объект (а при больших расстояниях – на отражатель, установленный на объекте).

Рулетка выдаст на дисплее результат, равный сумме расстояний от нее до зеркала S и от зеркала до отражающей поверхности l , до которой производятся измерения (рис. 50). Вычтя из показаний дисплея постоянное слагаемое S' , которое зависит от расстояния S и поправки за положение зеркала относительно точки замера, получим искомый результат L . Если снабдить устройство поворотным зеркалом (или двумя взаимно перпендикулярными зеркалами), то можно производить измерения до левой и правой отражающих поверхностей, располагая устройство между ними.

Были проведены испытания предложенного лазерно-зеркального способа в лабораторных и производственных условиях с целью подтверждения возможности его реализации и определения ожидаемой точности получаемых результатов. У ЛЗУ длина штанги и S могут меняться в зависимости от расстояния от наблюдателя до точки замера. Поэтому, перед производством измерений необходимо «протарировать» прибор. Для этого следует измерить лазерной рулеткой несколько базисов L_1, L_2, L_3, \dots , а затем эти базисы измерить с помощью ЛЗУ с той же самой рулеткой. Разности S'_1, S'_2, S'_3, \dots полученных соответствующих результатов L'_1, L'_2, L'_3, \dots и L_1, L_2, L_3, \dots должны быть равны между собой, т.к. они представляют постоянное слагаемое, которое зависит от расстояния S и поправки за положение зеркала относительно точки замера.

Проведенные испытания подтвердили возможность реализации предложенного лазерно-зеркального способа, обеспечивающего дистанционные измерения расстояний с точностью заявленной в паспорте лазерной рулетки 2-3 мм.

2. Определение расстояния между фермами в середине пролета

Определение расстояния между осями ферм покрытия зданий в середине пролета может производиться с крановой тележки двумя непосредственными способами.

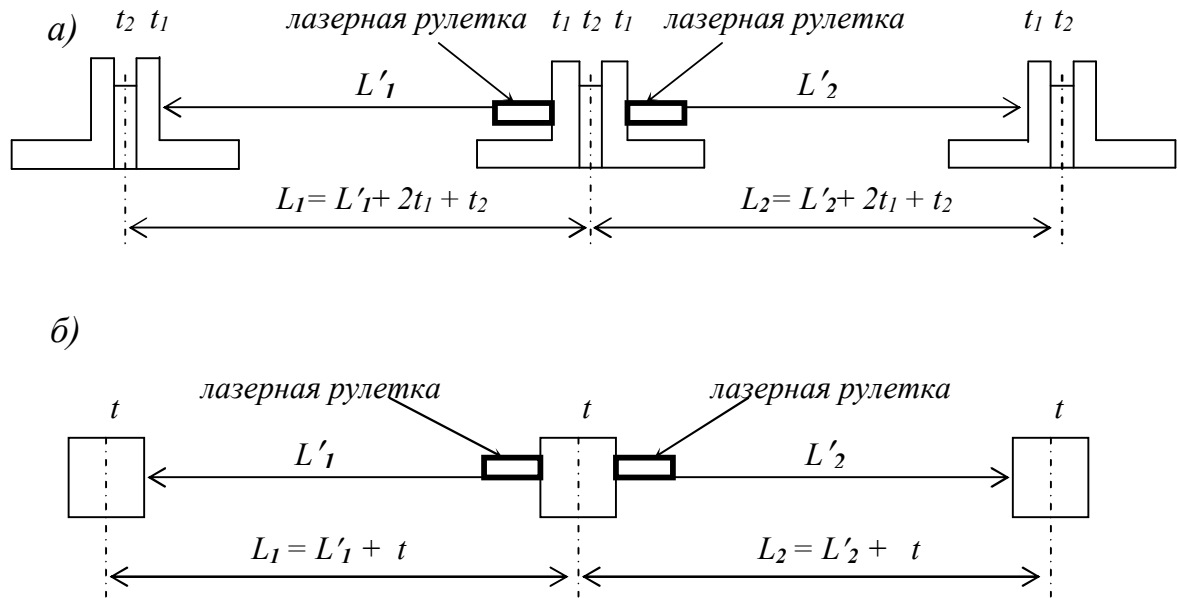


Рис. 51. Схема измерения расстояний между фермами лазерной рулеткой

Первый способ предусматривал использование обычной рулетки. Он заключается в том, что один конец рулетки с помощью специальной трубки или магнитного фиксатора закреплялся на нижнем поясе одной фермы и измеряются соответствующие расстояния между фермами, пока хватает длины рулетки.

Другой способ определения расстояний L между осями ферм в середине пролета может производиться с помощью лазерной рулетки непосредственно или дистанционно. Так, если нижний пояс ферм состоит из двух уголков и междууголковой плиты (см. рис. 51, а), то рулетка прикладывается к внутренним граням уголков одной фермы и измеряются расстояния L'_1 и L'_2 до внутренних граней уголков двух соседних ферм. В измеренные расстояния L'_1 и L'_2 необходимо ввести поправки, учитывающие толщину уголка t_1 и междууголковой плиты t_2 , в результате чего получим искомые расстояния между осями ферм L_1 и L_2 (рис. 51, а).

Если нижний пояс ферм находится на значительной высоте от моста крана, то непосредственный способ, описанный выше, будет затруднен ввиду необходимости доставки лазерной рулетки в точки замера. В этом случае может применяться дистанционный способ с использованием ЛЗУ, удлинительная штанга которого прикладывается к уголку (рис. 52, а) или к боковой грани фермы (рис. 52, б).

Для более устойчивого и однообразного положения удлинительной штанги относительно нижнего пояса ферм она снабжена упором. Произведя измерения, вычитают из показаний лазерной рулетки постоянное слагаемое S' и по-

лучают расстояния L'_1 и L'_2 , вводя в которые соответствующие поправки, находят искомые расстояния между осями ферм L_1 и L_2 (рис. 52 а, б).

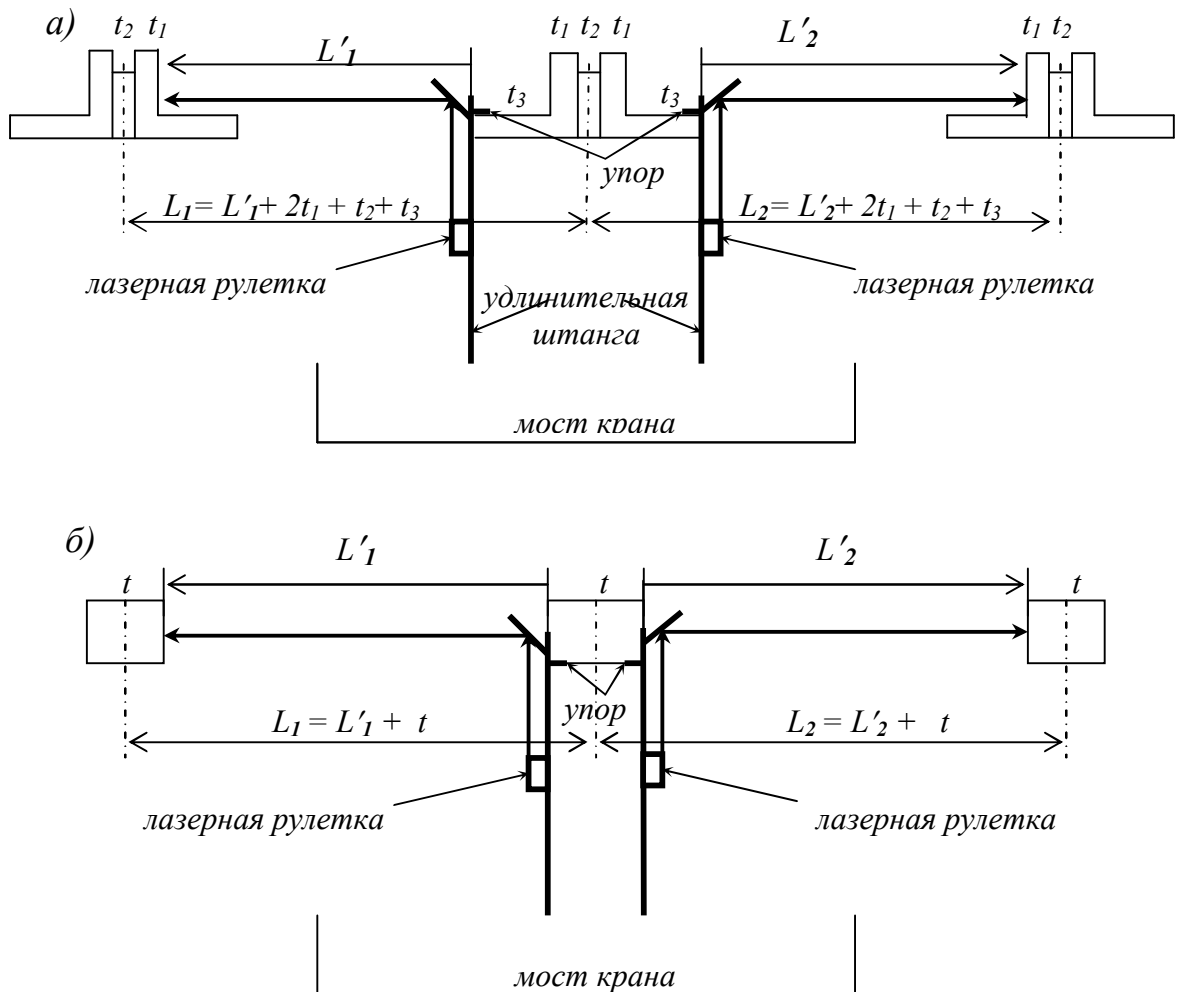


Рис. 52. Схема измерения расстояний между фермами с помощью ЛЗУ

3. Определение расстояний между колоннами в пролёте и в ряду

Измерение расстояний между осями колонн в пролёте может осуществляться обычной рулеткой с тормозных площадок крана только на уровне человеческого роста. А измерение расстояний между осями колонн в ряду к тому же требует выхода исполнителей на подкрановый путь. Производство же таких измерений на уровне оголовка колонн, даже с использованием лазерной рулетки, вообще говоря, проблематично. Эта задача с успехом решается с помощью ЛЗУ (рис. 53), причем одним исполнителем [35].



Рис. 53. Пример использования ЛЗУ для измерения расстояния между колоннами в пролёте на уровне их оголовка

Зеркало с помощью удлинительной штанги доставляется в точку замера на уровне оголовка колонны, а сама штанга прислоняется к внутренней грани колонны. Измеряют расстояние до внутренней грани противоположной колонны, которое будет равно показаниям рулетки минус постоянное слагаемое ЛЗУ.

Если нельзя прислонить штангу к грани колонны из-за какого-либо препятствия, то можно использовать откидной упор известной длины (рис. 54). Тогда при вычислении расстояния L' следует к разности показаний рулетки и постоянного слагаемого прибавить длину этого упора. Зная размеры колонн левого и правого ряда понизу L_H , P_H и поверху L_B , P_B , можно вычислить расстояние L между осями колонн по формуле

$$L = L' + (L_B + P_B) - (L_H + P_H)/2 . \quad (50)$$

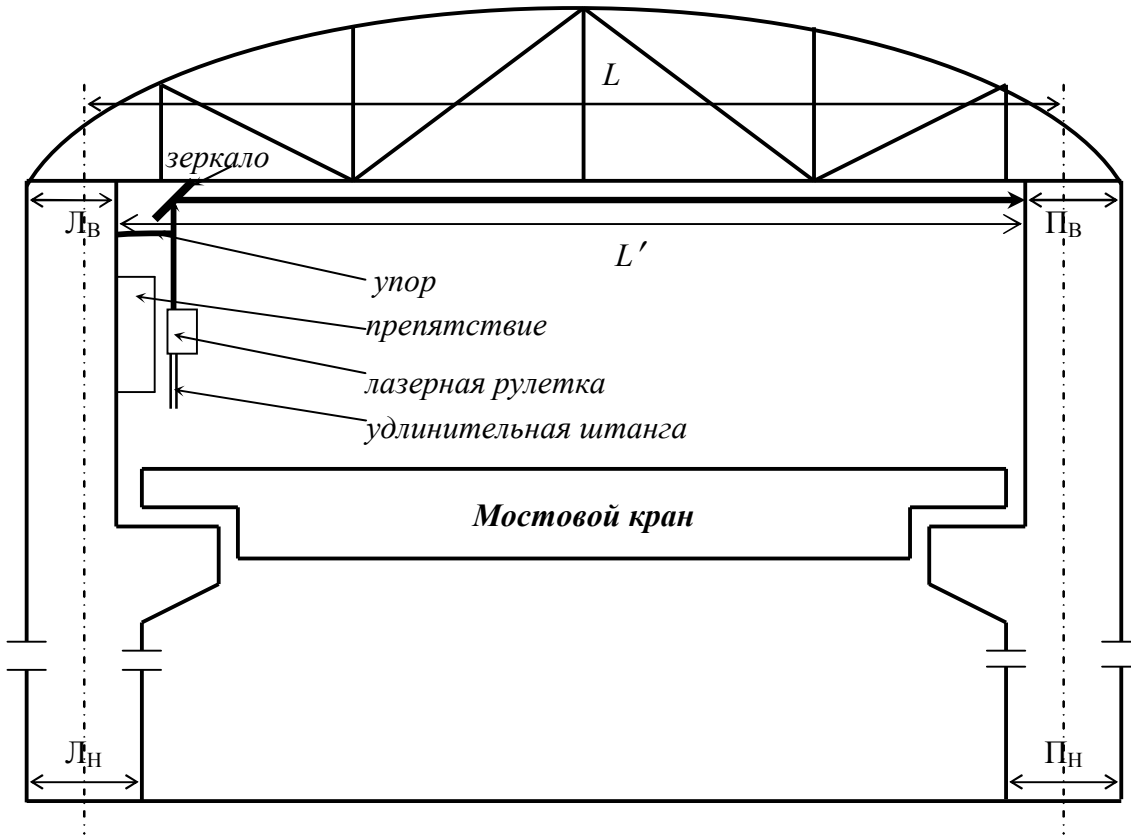


Рис. 54. Схема измерения расстояний между осями колонн в пролёте

Аналогичным образом производится измерение расстояний между осями колонн в ряду с введением в L' поправки за ширину колонны (аналогично таковой на рис. 52, б) и за длину упора, если он имел место.

4. Определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн

Как правило, эта задача решается путем маркировки на уровне оголовка колонны ее осевой риски и осевой риски нижнего пояса фермы с последующим прямым измерением расстояния между этими рисками с помощью линейки с миллиметровыми делениями. Такие непосредственные измерения труднодоступны даже с тормозных площадок крана, когда до оголовка колонны расстояние может превышать 2 и более метров, небезопасны, трудоемки и малопродуктивны. Поэтому были разработаны и опробованы новые способы, позволяющие производить необходимые измерения дистанционно [50]: механический, лазерно-зеркальный, фотографический и угломерный.

• **Механический способ.** Принципиальная схема механического устройства показана на рис. 55, а заключается в следующем. Основанием устройства служит специальная подвижная каретка, которая состоит из двух шарнирно соединенных в точке O планок, на концах которых закреплены ролики A , B , B и $Г$. Планки связаны между собой пружинами. На оси каретки установлен шар-

нирный параллелограмм *абвг*, имеющий на одном конце вилку, на другом – удлинительную штангу с круглым уровнем.

Устройство работает следующим образом. Подвижная каретка надевается на колонну, при этом пружины обеспечивают надежное прижатие роликов *А*, *Б*, *В* и *Г* к ее боковым стенкам. С помощью удлинительной штанги перемещают каретку с шарнирным параллелограммом до соприкосновения вилки с нижними боковыми ребрами фермы. Вертикальность штанги контролируется по круглому уровню. В результате самоцентрирования каретки относительно колонны и вилки относительно фермы стороны шарнирного параллелограмма *аб* и *вг* расположатся строго по осям колонны и фермы. Расстояние между ними *c* будет соответствовать величине смещения оси фермы относительно оси колонны.

• **Лазерно-зеркальный способ.** Схема одного лазерно-зеркального устройства поясняется рис. 55, б и заключается в следующем. Основанием устройства служат две подвижных каретки 1 и 2, на концах которых закреплены ролики *А*, *Б* и *В*, *Г*. Каретки связаны между собой направляющей 3, причем каретка *АБ* жестко скреплена с направляющей, а каретка *ВГ* установлена на направляющей с возможностью перемещения вдоль нее. Перемещения каретки *ВГ* фиксируются пружиной 4. На направляющей установлен ползун 5, жестко скрепленный с удлинительной штангой 6, который обеспечивает возможность перемещения штанги влево-вправо по направляющей. Удлинительная штанга имеет на одном конце вилку 7, а на другом – лазерную рулетку 8 и круглый уровень 9.

На каретках установлены перпендикулярно направляющей экраны-отражатели *АБ* и *ВГ*, а на штанге в точке ее пересечения с направляющей установлено под углом 45° к штанге поворотное зеркало 10.

Надевают подвижные каретки на колонну, при этом пружина 4 обеспечивает надежное прижатие роликов *А*, *Б*, *В* и *Г* к ее боковым стенкам. С помощью удлинительной штанги перемещают каретки до соприкосновения вилки 7 с нижними боковыми ребрами фермы. Вертикальность штанги контролируется по круглому уровню.

В результате самоцентрирования вилки относительно фермы удлинительная штанга расположится строго по оси фермы. Включают лазерную рулетку, при этом лазерный луч, отразившись от зеркала, попадает на правый экран-отражатель *ВГ*, в результате чего будет измерено расстояние $(S + l_n)$. Повернув зеркало на 90° (на рисунке обозначено пунктиром), измеряют расстояние $(S + l_n)$. Полуразность полученных значений даст величину *c* смещения оси фермы относительно оси колонны:

$$c = 0,5(l_n - l_n) = 0,5[(S + l_n) - (S + l_n)], \quad (51)$$

причем радиусы роликов *А*, *Б*, *В* и *Г* одинаковы и они в вычислениях не участвуют. Знак «плюс» величины *S* означает смещение опорного узла фермы вправо, знак «минус» означает смещение его влево.

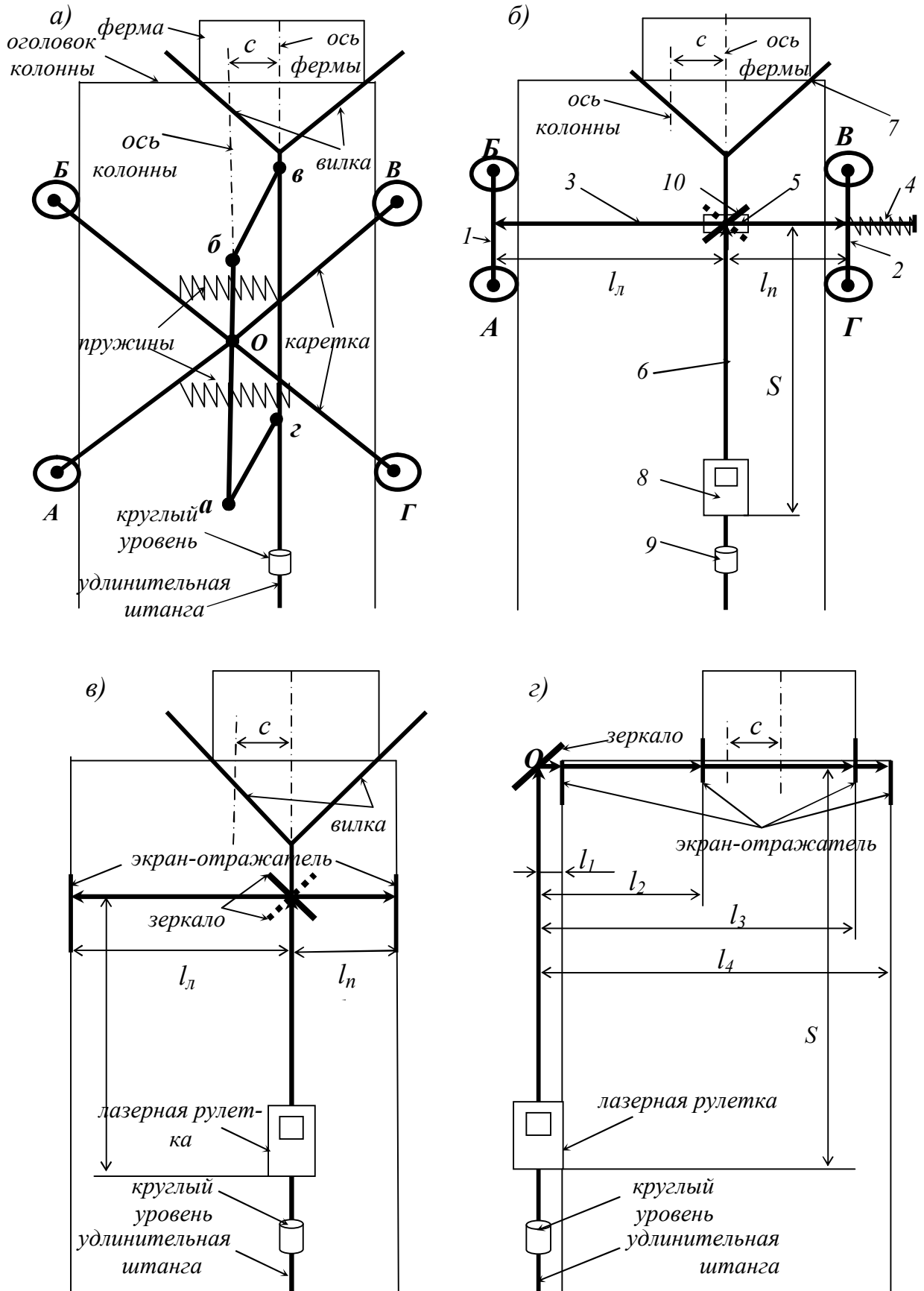


Рис. 55. Принципиальные схемы устройств для дистанционных измерений смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн

В качестве поворотного зеркала может служить круглое зеркало подсветки теодолита 4Т30П диаметром 19 мм. Вместо одного поворотного зеркала можно использовать два взаимно перпендикулярных неподвижных зеркала от буссоли указанного теодолита с размерами 16x90 мм, расположенных одно над другим под углами 45^0 к удлинительной штанге и наводить лазерный луч вначале на одно, а затем на другое зеркало. В качестве удлинительной штанги может использоваться обычная нивелирная рейка (цельная, складная, телескопическая) или строительный уровень.

Принципиальная схема другого лазерно-зеркального устройства на рис. 55, в основана на измерении двух расстояний $(S + l_n)$ и $(S + l_n)$ от оси нижнего пояса фермы до левого и правого экранов-отражателей, приведенных в соприкосновение с боковыми гранями колонны с последующим вычислением величины смещения опорного узла фермы на оголовке колонны по формуле (51). Полуразность измеренных расстояний и её знак соответствуют величине и направлению смещения c оси фермы относительно оси колонны.

По схеме лазерно-зеркального устройства на рис. 55, г предусматривается измерение расстояний $(S + l_1)$, $(S + l_2)$, $(S + l_3)$ и $(S + l_4)$ до левых и правых граней колонны и фермы с расположением зеркала в некоторой фиксированной точке O . В этом случае величину смещения опорного узла фермы c на оголовке колонны определяют по формуле

$$c = 0,5(l_2 + l_3) - (l_1 + l_4) = 0,5[(S + l_2) + (S + l_3)] - 0,5[(S + l_1) + (S + l_4)]. \quad (52)$$

Знак «плюс» величины c в формуле (52) означает смещение опорного узла фермы вправо, знак «минус» – смещение влево. Если снабдить удлинительную штангу упором известной длины l_1 , то $(S + l_1)$ всегда будет величина постоянная и можно сократить количество измерений до трех, то есть $(S + l_2)$, $(S + l_3)$ и $(S + l_4)$.

• **Фотографический способ** с помощью цифровых аппаратов, совместимых с персональным компьютером, позволяет получать максимум информации о положении опорного узла фермы на оголовке колонны. Для его осуществления достаточно сфотографировать рейку (рулетку), горизонтально приложенную на удлинительной штанге к оголовку колонны (рис. 56, а). По отсчётам l_1 , l_2 , l_3 , l_4 по шкале рейки (рулетки), соответствующим положению боковых граней фермы и колонны, нетрудно определить величину и направление смещения опорного узла фермы по формуле (52).

Так, в нашем примере (рис. 56, а) отсчёты по шкале рулетки равны $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 65$ мм, $l_3 = 393$ мм, $l_4 = 408$ мм. Следовательно, согласно формуле (52), смещение c опорного узла данной фермы на оголовке колонны составляет + 25 мм. Знак «плюс» означает смещение опорного узла вправо, что четко видно на фотографии.

Вообще говоря, можно ограничиться фотографией только оголовка колонны и нижнего пояса фермы (рис. 56, б). Зная ширину колонны, достаточно масштабировать снимок и все последующие измерения выполнять с помощью обычной линейки с миллиметровыми делениями или горизонтальной линейки на экране монитора.

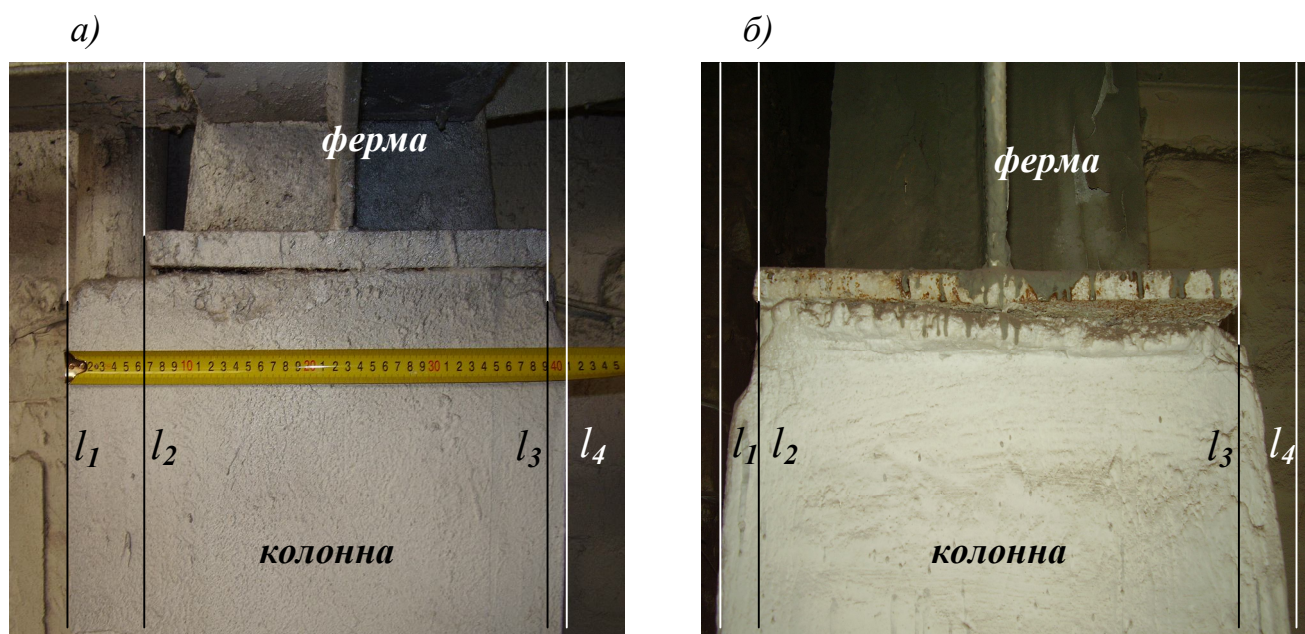


Рис. 56. Фотографический способ определения положения опорного узла фермы на оголовке колонны

Например, измерения на фотографии (рис. 56, б) дали следующие результаты: $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 17$ мм, $l_3 = 225$ мм, $l_4 = 250$ мм, ширина колонны 400 мм. Подсчитанная по формуле (52) величина смещения опорного узла фермы составила в масштабе снимка -4 мм, причем знак «минус» соответствует смещению опорного узла влево. Действительное смещение будет равно $(400:250) \times 4 = -6$ мм.

Аналогичные измерения на фотографии (рис. 56, а) дали следующие результаты: $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 35$ мм, $l_3 = 210$ мм, $l_4 = 218$ мм. Подсчитанное по формуле (52) смещение в масштабе снимка оказалось равным $+13,5$ мм, что при ширине колонны 408 мм составит в действительности $(408:218) \times 13,5 = +25$ мм, то есть получили то же значение c , что и по отсчетам по рулетке.

Наконец, третий способ измерений фотографии заключается в использовании программы редактирования фотографических изображений, например, ArchiCAD 11, позволяющей фиксировать величину горизонтальных перемещений стрелки-курсора от некоторой начальной точки. Такой точкой, в используемой нами программе, являлась точка O на левом краю фотографии (рис. 57).

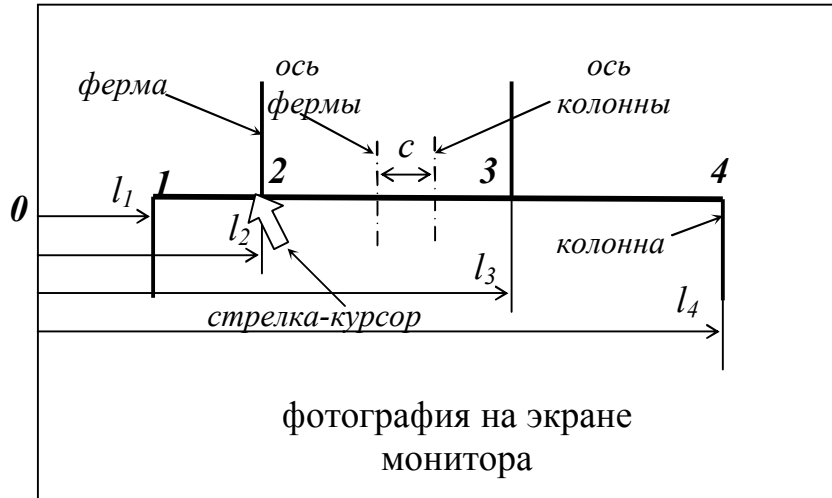


Рис. 57. Схема измерений фотографии с помощью стрелки-курсора

Подводя последовательно стрелку-курсор к точкам *1*, *2*, *3* и *4*, сразу читают на экране монитора значения расстояний l_1 , l_2 , l_3 и l_4 в некоторых условных единицах. Такие измерения можно выполнять в различных масштабах снимка (25, 50, 75, 100, 150, 200%), причем масштаб снимка не влияет на величину измеряемых расстояний l_i . По результатам измерений вычисляют по формуле (52) значение смещения c .

• **Угломерный способ.** Следует сказать, что с пола с одной стороны цеха практически всегда имеется видимость на оголовки колонн и опорные узлы ферм на другой его стороне. Поэтому, для определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн может быть применен так называемый угломерный способ с помощью теодолита, не требующий задействования мостового крана. Его сущность заключается в следующем (рис. 58).

Теодолит устанавливают на полу против колонны на противоположной стороне цеха. Закрепив лимб, визируют при одном положении вертикального круга (КЛ) на левый край оголовка колонны, на левый край опорного узла фермы, затем на правый край опорного узла фермы и на правый край оголовка колонны, беря последовательно отсчеты по горизонтальному кругу.

Затем действия повторяют при другом положении вертикального круга (КП) и выводят средние отсчеты $O_{ЛК}$, $O_{ЛФ}$, $O_{ПК}$, $O_{ПФ}$. По ним можно определить отсчеты $O_K = 0,5(O_{ЛК} + O_{ПК})$ и $O_\Phi = 0,5(O_{ЛФ} + O_{ПФ})$ на воображаемые осевые риски колонны и фермы.

Разность этих отсчетов $\gamma = O_\Phi - O_K$ соответствует смещению опорного узла фермы на оголовке колонны в угловой мере. Причем, знак этой разницы «плюс» означает смещение оголовка вправо, знак «минус» – влево. Зная расстояние L от теодолита до колонны, можно вычислить величину смещения опорного узла фермы на оголовке колонны по формуле

$$c = L\gamma''/\rho'' , \quad \rho'' = 206265'' . \quad (53)$$

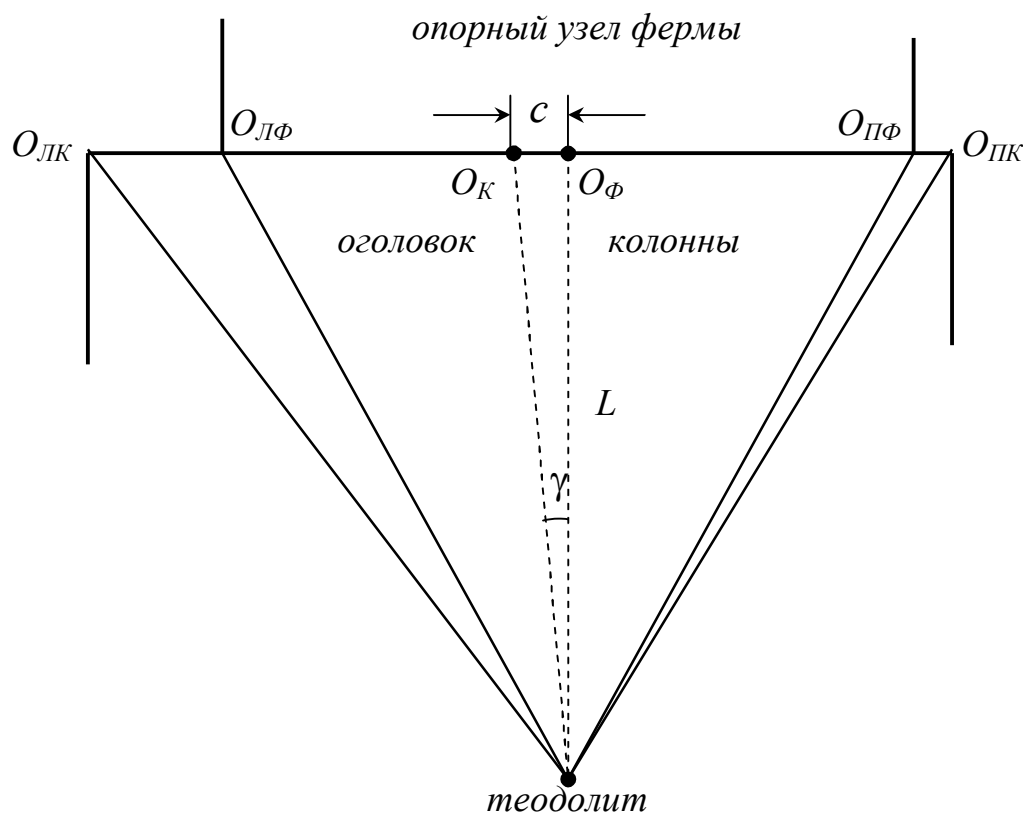


Рис. 58. Угломерный способ определения положения опорного узла фермы на оголовке колонны

Точность m_c определения смещений по формуле (53) может быть оценена следующим образом:

$$m_c = \frac{\sqrt{L^2 m_\gamma^2 + \gamma^2 m_L^2}}{\rho}, \quad (54)$$

где m_γ , m_L – соответственно средние квадратические ошибки определения расстояния L и угла γ .

Расчеты показывают [50], что в предлагаемом угломерном способе точность m_c определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн зависит только от ошибок m_γ угловых измерений. Для отдельного теодолита она практически остается неизменной при различных относительных ошибках линейных измерений и различных значениях γ . Даже при использовании 30-секундного теодолита 4Т30П и измерении расстояния от теодолита до колонны с помощью нитяного дальномера, ошибка определения смещения m_c может составить всего около 2 мм.

В работе [51] приведены результаты моделирования описанных выше способов определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн с

использованием лазерно-зеркального устройства, оптического теодолита 4Т30П, электронного тахеометра SET530R, цифрового фотоаппарата. Проведенные исследования показали, что новые способы (лазерно-зеркальный, фотографический, угломерный) могут с успехом применяться для определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн. Они дают практически одинаковые результаты, отличаются высокой точностью, производительностью и обеспечивают надежную безопасность работ.

5. Определение стрелы прогиба конструкций

Определение стрелы прогиба ферм, балок покрытия, подкрановых балок и др. может осуществляться: геометрическим нивелированием; способом тригонометрического нивелирования; угломерным, фотографическим и лучевым способами; механическим способом с помощью прогибомеров.

• *Способ геометрического нивелирования* (рис. 59) заключается в том, что нивелирная рейка последовательно прикладывается вертикально к нижней полке фермы (балки покрытия) нулем вверх вплотную к одной колонне (точка 1), затем в промежуточных точках (2, 3, 4) и вплотную к другой колонне (точка 5), а также устанавливается на подкрановую балку у каждой колонны и между колоннами. С помощью нивелира по рейке производят отсчеты. По этим отсчетам вычисляют стрелы прогиба конструкций [34]. Пример вычисления стрелы h прогиба правой половины фермы одного из литейных цехов ОАО НАЗ «Сokol» (рис. 59) в точке 2 относительно точек 1 и 3 приведен на рис. 60.

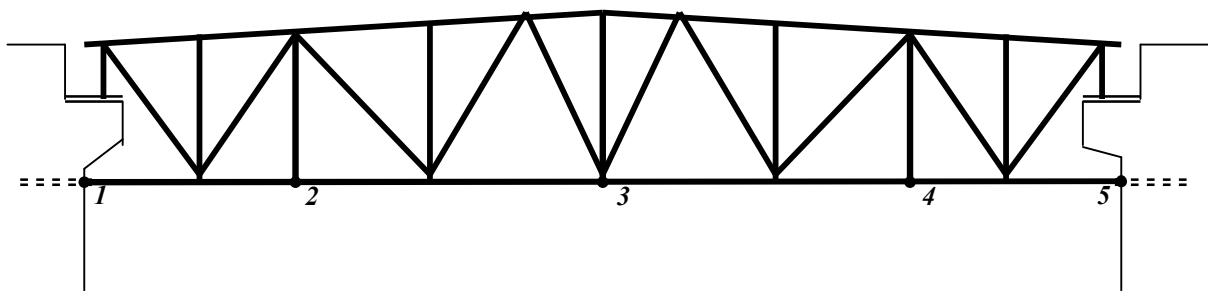


Рис. 59. Пример конфигурации фермы и нивелируемые точки

Здесь O_1, O_2, O_3 – отсчеты по рейке в нивелируемых точках, расстояние между которыми l_1 и l_2 . По этим данным стрелу прогиба h можно вычислить по формуле (55), причем знак «плюс» у h означает прогиб конструкции выпуклостью вниз, а знак «минус» - выпуклостью вверх:

$$h = \frac{l_1}{l_1 + l_2} (O_3 - O_5) + (O_5 - O_4) . \quad (55)$$

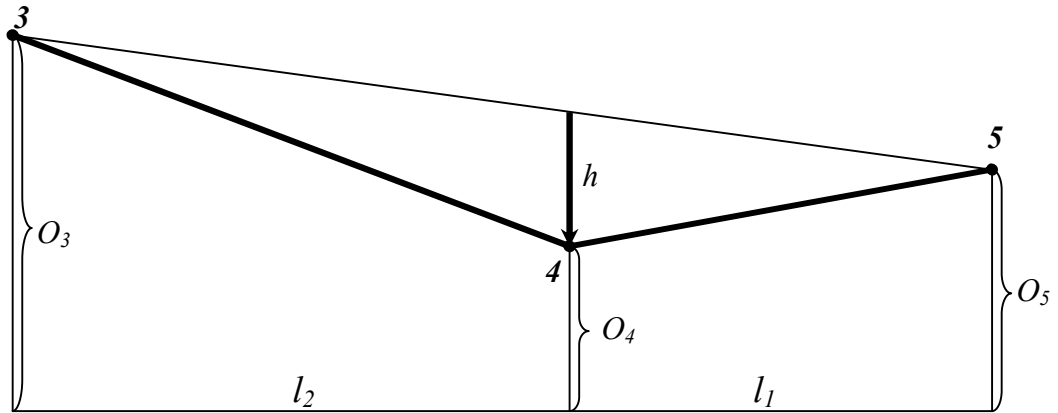


Рис. 60. Схема к определению стрелы прогиба конструкции

По формуле (55) можно вычислить стрелу прогиба между любыми нивелированными точками конструкции. При равенстве длин l_1 и l_2 формула (55) упрощается и принимает вид:

$$h = \frac{1}{2}(O_3 + O_5) - O_4 \quad (56)$$

• **Способ тригонометрического нивелирования** предусматривает измерения на нивелируемые точки угла наклона и наклонного расстояния. При использовании электронных или оптических (типа Т2, Т5) теодолитов основная трудность будет заключаться в измерении наклонных расстояний.

В работе (Визиров Ю.В. *Электронная съемка и обследование тоннеля // Геод. и картогр. – 1999. – №10. – С. 20–25*) предлагается закреплять над зрительной трубой теодолита лазерную рулетку, с помощью которой измерять искомые расстояния. При этом может быть три способами закрепления рулетки: ось лазерного пучка параллельна визирной оси зрительной трубы и отстоит от неё на расстоянии q (рис. 61, а); рулетка может шарнирно вращаться на высоте b над горизонтальной осью теодолита (рис. 61, б); рулетка может независимо наклоняться над мостиком колонки (рис. 61, в). Процесс измерений заключается в точном наведении лазерного пятна на обследуемые точки и фиксации каждый раз наклонного расстояния до них и отсчетов по вертикальному кругу теодолита.

По результатам угловых v и линейных D измерений можно вычислить превышения h нивелируемых точек над точкой стояния теодолита. Так, в первом случае (рис. 61, а) $h = D \sin v + q \cos v$, во втором случае (рис. 61, б) $h = D \sin v + b$, в третьем случае (рис. 61, в) $h = D \sin(v - \Delta v)$, где непараллельность визирной оси и лазерного пучка определяется выражением: $\sin \Delta v = b \cos v / D$. По разности полученных превышений определяют стрелы прогиба конструкции.

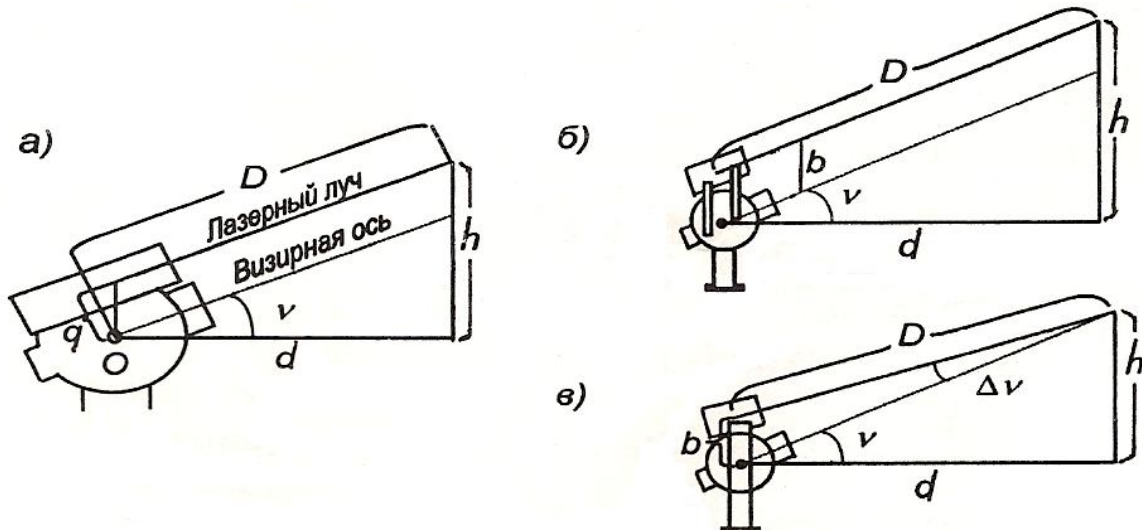


Рис. 61. Крепление дальномерной насадки к теодолиту

Аналогичным образом можно определить стрелы прогиба конструкции с помощью электронного тахеометра. Для этого прибор устанавливают в некоторой точке T и приводят его в рабочее положение (рис. 62).

Наводят перекрестие сетки или лазерное пятно на точку I основания фермы и на первой странице режима [P1] нажимают клавишу [УСТ 0], а затем клавишу [РАССТ]. На экране отображаются: измеренное расстояние (S) и отсчеты по вертикальному кругу (Z) и горизонтальному кругу (ГУП), который будет равен $0^{\circ}00'00''$. Нажимают клавишу [СТОП], а затем клавишу [▲ SDh], и получают на экране (рис. 63) наклонное расстояние (S), горизонтальное проложение (D) и превышение (h).

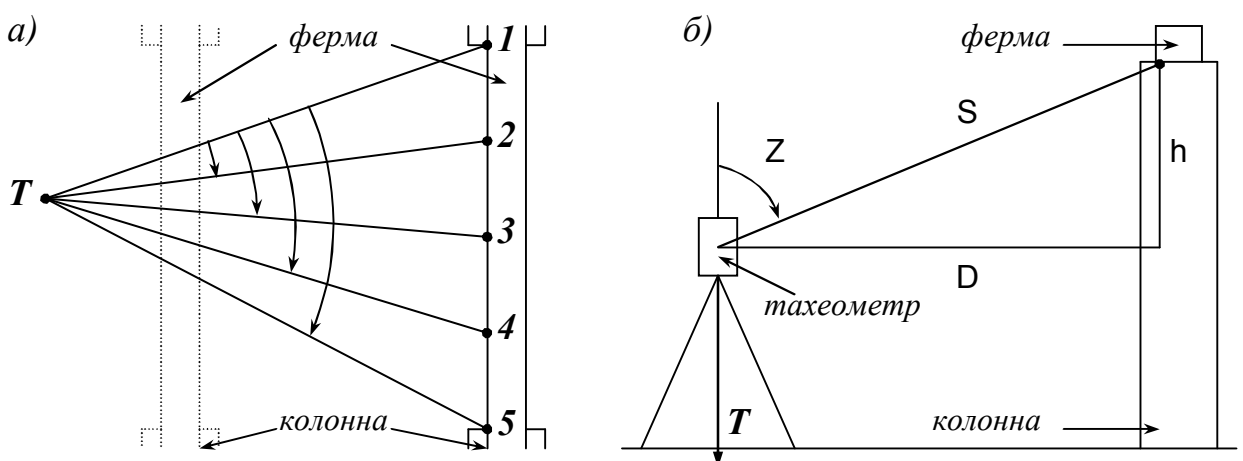


Рис. 62. Схема определения стрелы прогиба с помощью электронного тахеометра (а – вид сверху, б – вид сбоку)

Затем визируют последовательно на точки **2, 3, ...**, нажимая каждый раз клавишу [**РАССТ**] и фиксируя отсчет (ГУп) по горизонтальному кругу, а затем клавиши [**СТОП**] и [**SDh**], получая на каждую наблюдаемую точку (S), (D) и (h). По разности полученных превышений вычисляют стрелы прогиба конструкции.

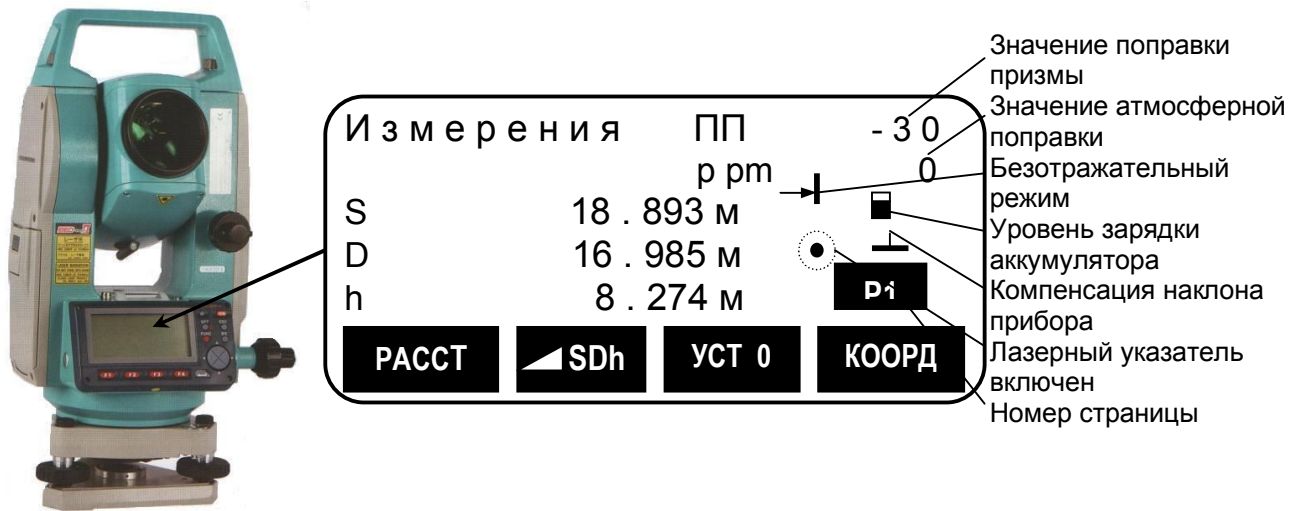


Рис. 63. Результаты тригонометрического нивелирования на экране дисплея тахеометра **SET 530R/R3**

Другой способ использования электронного тахеометра предусматривает дискретное сканирование точек по вертикали. Для этого устанавливают на полу цеха тахеометр в произвольной точке **T**, расположенной под фермой (рис. 64).

Наводят последовательно перекрестие сетки или лазерное пятно прибора на низ левой колонны **H_Л**, точки **1, 2, 3, ...** и низ правой колонны **H_П**, получая (по приведенной выше методике) на каждую наблюдаемую точку горизонтальное проложение (D) и превышение (h). По разности полученных превышений вычисляют стрелы прогиба фермы. А по разностям горизонтальных проложений от точки **T** до верха **D₁** и низа **D_{ЛН}** левой колонны и до верха **D₅** и низа **D_{ПН}** правой колонны вычисляют крен **K_Л** и **K_П** каждой колонны:

$$K_L = (D_1 + L_B) - (D_{ЛН} + L_H), \quad (57)$$

$$K_P = (D_5 + P_B) - (D_{ПН} + P_H),$$

где **L_В**, **L_Н**, **P_В**, **P_Н** – ширина колонны поверху и понизу, а по знаку разности судят о крене колонны влево или вправо.

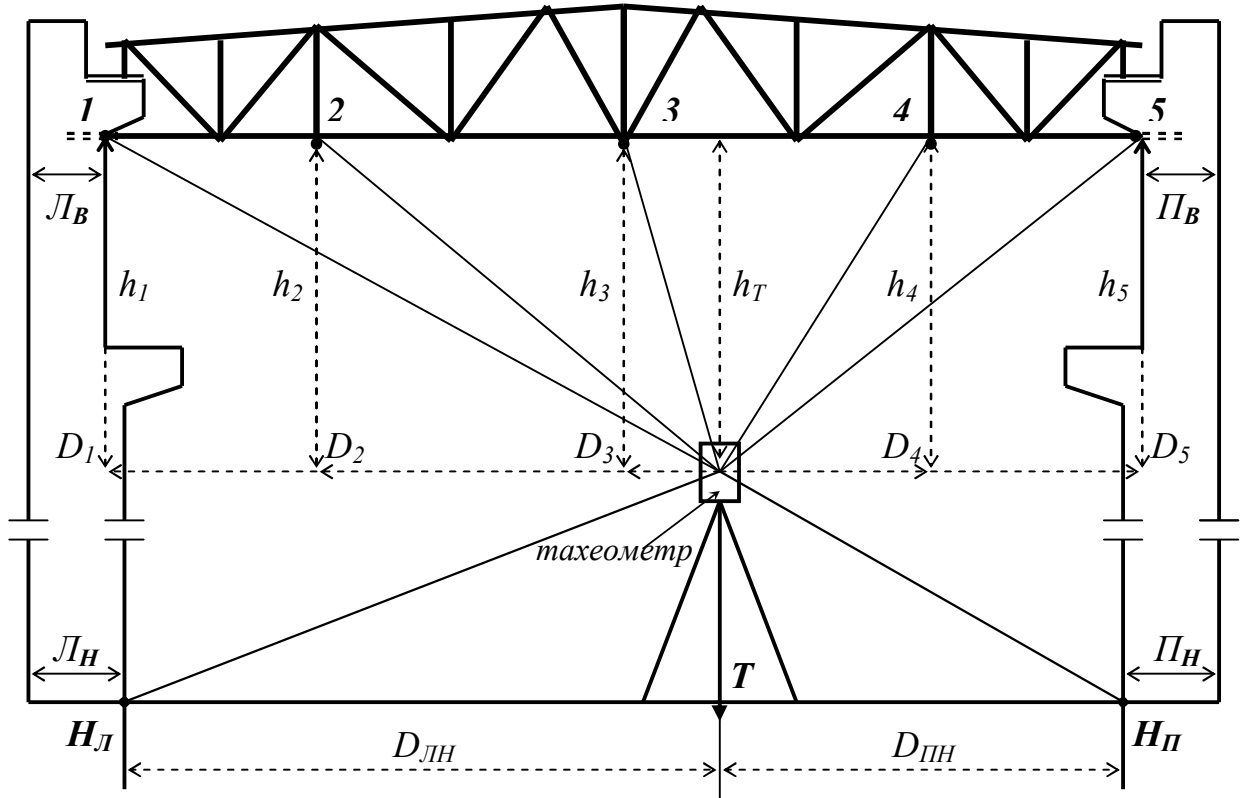


Рис. 64. Схема одновременного определения вертикальности колонн и стрелы прогиба фермы путем сканирования точек в вертикальной плоскости

• **Угломерный способ**, описанный в работе (Соколов Ю.Г. Измерение прогиба балок и ферм конструкций // «Геодезия и фотограмметрия». Межвуз. сб. Ростов н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т, – 1980. – С. 124–128) заключается в измерении теодолитом из некоторой точки T горизонтальных углов β_1, β_2 и вертикальных углов v_1, v_0, v_2 на точки основания фермы или балки $1, 0, 2$ (рис. 65).

Искомую величину стрелы прогиба h можно вычислить по формуле

$$h = \frac{\Delta v d}{\rho \cos^2 v} \quad (58)$$

где d – горизонтальное проложение расстояния TO ; Δv – параллактический угол, соответствующий стреле прогиба h , который находят из выражения:

$$\Delta v = \left[0,5 \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} v_1}{\cos \beta_1} + \arctg \frac{\operatorname{tg} v_2}{\cos \beta_2} - v_0 \right) \right] \quad (59)$$

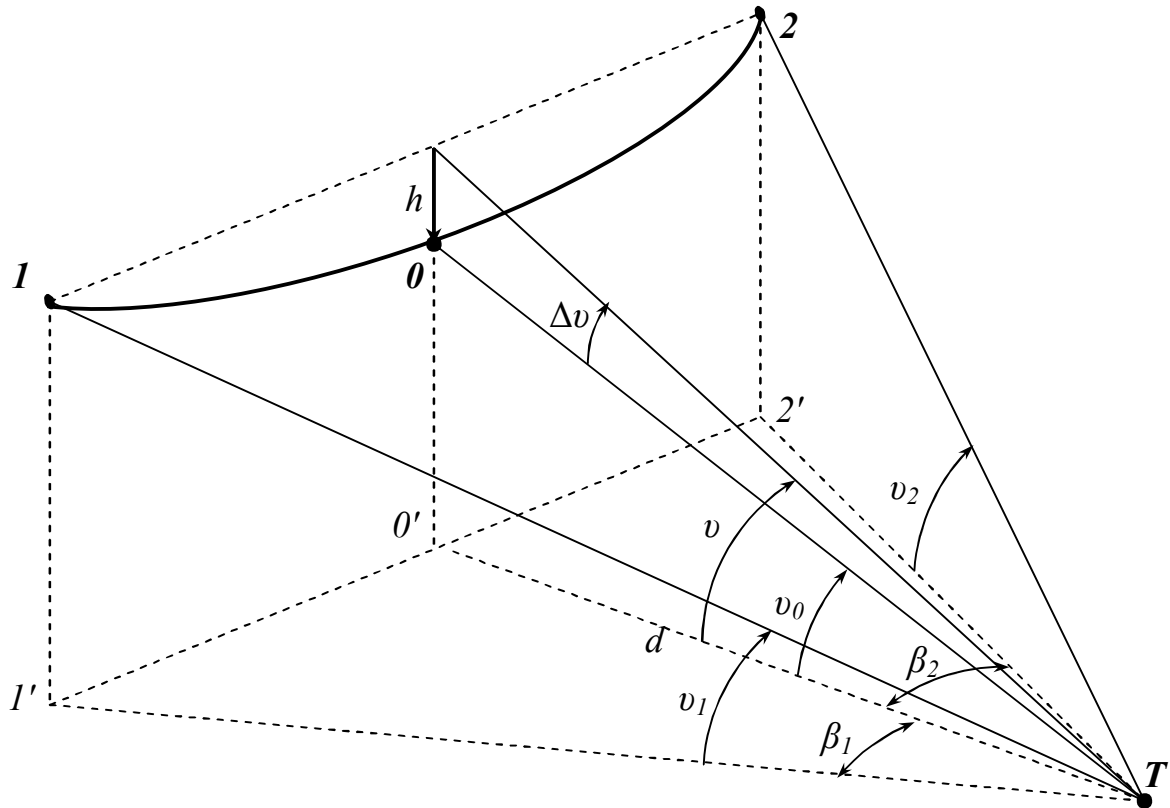


Рис. 65. Схема угломерного способа определения стрелы прогиба

Если на ферме (балке) укрепить вертикально линейку с миллиметровыми делениями так, чтобы нулевой штрих линейки был совмещен с точкой O , расположенной в центре балки, то достаточно измерить β_1 , β_2 и v_1 , v_2 . Вычислив угол наклона v по формуле

$$v = 0,5 \left(\arctg \frac{\operatorname{tg} v_1}{\cos \beta_1} + \arctg \frac{\operatorname{tg} v_2}{\cos \beta_2} \right), \quad (60)$$

устанавливают на вертикальном круге теодолита отсчет, равный вычисленному углу, визируют на линейку и берут по ней отсчет, который будет соответствовать величине стрелы прогиба h . В этом случае отпадает необходимость в линейных измерениях и измерении угла наклона v_0 .

Точность рассмотренного способа в основном зависит от точности угловых измерений, в то время как линейные измерения можно выполнять с точностью 10 см.

• **Лучевой способ** предусматривает задание створа вдоль нижнего пояса фермы с помощью лазерного пучка. Проще всего использовать для этой цели лазерную рулетку, закрепленную на колонне (рис. 66) и включенную на работу в непрерывном режиме, и нивелирную рейку.

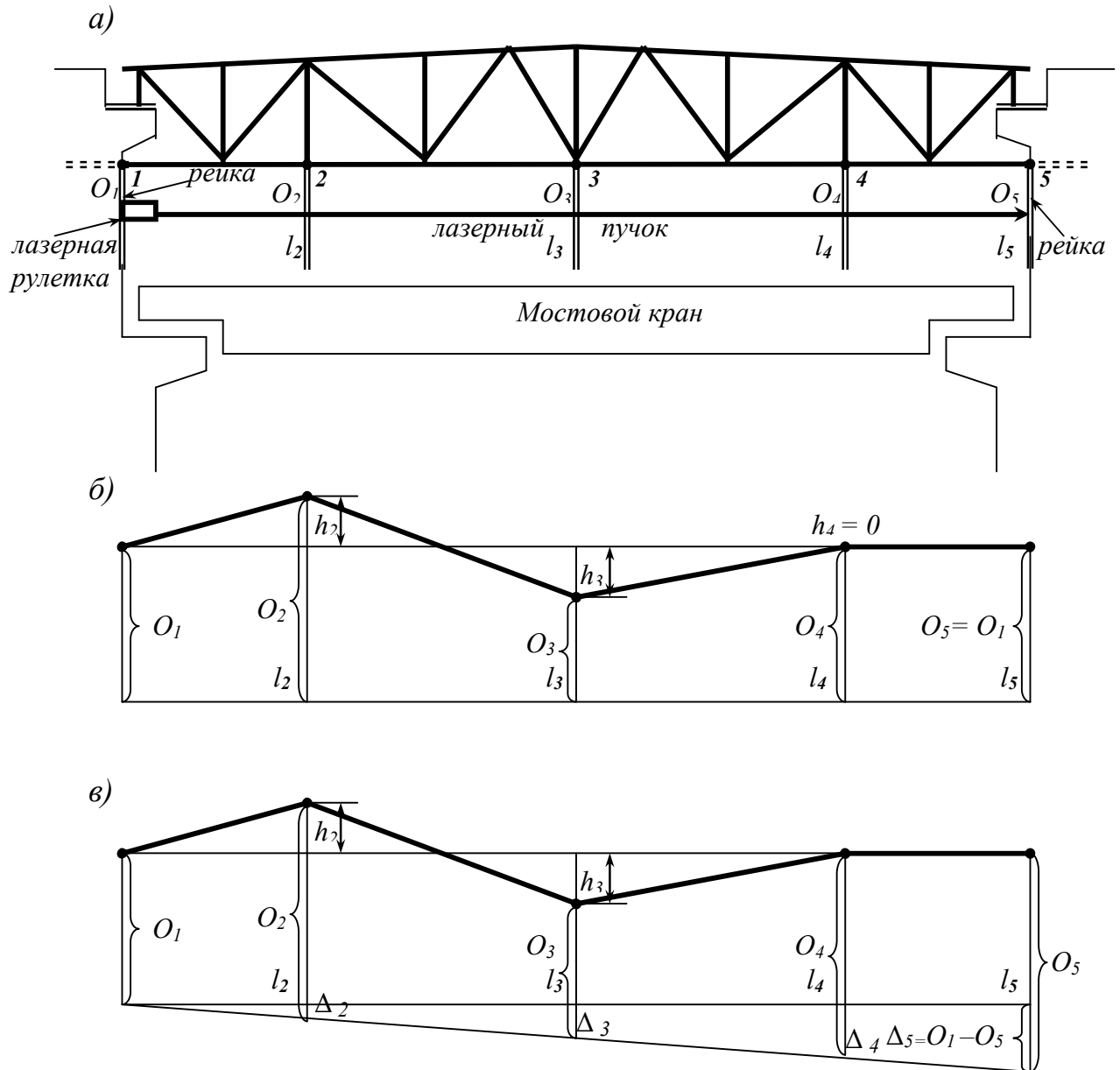


Рис. 66. Схема лучевого способа определения стрелы прогиба

Взяв отсчет O_1 по лазерному пятну на рейке, установленной нулем вверх, перемещают рейку в точку 5 и, наклоняя рулетку, добиваются совмещения лазерного пятна с отсчетом O_5 , равным отсчету O_1 и фиксируют расстояние l_5 от рулетки до рейки. Теперь лазерный пучок будет параллелен линии $1-5$.

Затем, прикладывая последовательно рейку к нижней полке фермы в точках $4, 3, 2$, берут отсчеты по рейке O_4, O_3, O_2 , фиксируя одновременно расстояния от рулетки до рейки l_4, l_3, l_2 . По отсчетам O_i можно вычислить стрелу прогиба h_i для любой точки замера (рис. 65, б):

$$h_i = O_1 - O_i, \quad (61)$$

причем знак «плюс» у h_i означает прогиб конструкции выпуклостью вниз, а знак «минус» - выпуклостью вверх. В данном случае расстояния l_i не участвуют в вычислениях стрел прогиба. Они могут быть использованы, например, для построения профиля нижней полки фермы.

Вообще говоря, лазерный пучок может располагаться произвольно относительно линии *1-5* (рис. 66, в). В этом случае в отсчеты по рейке O_i следует ввести поправки Δ_i :

$$\Delta_i = \frac{l_i}{l_n} \Delta_n, \quad (62)$$

где $\Delta_n = O_l - O_n$, а знак поправок соответствует знаку разности ($O_l - O_n$).

Тогда формула (61) примет вид:

$$h_i = O_l - (O_i + \Delta_i). \quad (63)$$

• **Фотографический способ** определения прогибов ферм перекрытий, описанный в работе [53], предусматривает расположение оси съемочной камеры в горизонтальной плоскости и перпендикулярно к осевой плоскости фермы. Экспериментальные работы выполнены с использованием камеры УМК 10/1318 и стереокомпаратора Цейсса 1818. Для фермы длиной 24 м точность определения прогиба составила 4 мм при отстоянии съемки 50 м.

В другой работе [58] рассмотрены возможности применения наземной фотограмметрической съемки для определения пространственного положения стальных ферм промышленных цехов. В частности, для определяли прогиба ферм, съемку производили камерой УМК 10/1318 с крана при горизонтальном положении камеры. Обработку снимков выполняли на автографе А-5, контрольные измерения – на автографе А-8. Отмечено, что на точность съемок оказывает влияние задымленность цехов.

Применение цифровых фотоаппаратов, совместимых с компьютером, может значительно упростить фотографический способ определения прогибов ферм как в самом его исполнении, так и в последующей обработке полученных снимков фермы.

6. Геодезическая выверка колонн по вертикали

При определении вертикальности колонн, применяются различные способы [46]: вертикальное проектирование с помощью теодолита верхней осевой риски колонны на уровень ее нижней осевой риски; вертикальное проектирование с использованием рулеток или ЛЗУ; боковое нивелирование; использование приборов вертикального проектирования типа PZL; использование шнура-

вого отвеса в сочетании с лазерной рулеткой; использование электронного тахеометра и др.

• **Вертикальное проектирование с помощью теодолита**, в зависимости от насыщенности производственных помещений технологическим оборудованием, обычно выполняется следующим образом (рис.67).

Первый способ (рис.67, а) применяется при наличии видимости верхней и нижней частей колонны с противоположной стороны цеха. Для его выполнения намечают верхнюю и нижнюю осевые риски колонны и с помощью теодолита проектируют при двух положениях вертикального круга КЛ и КП верхнюю осевую риску на уровень нижней. Расстояние между средней проекцией и нижней осевой риской дает линейную величину и направление крена $K_{изм}$.

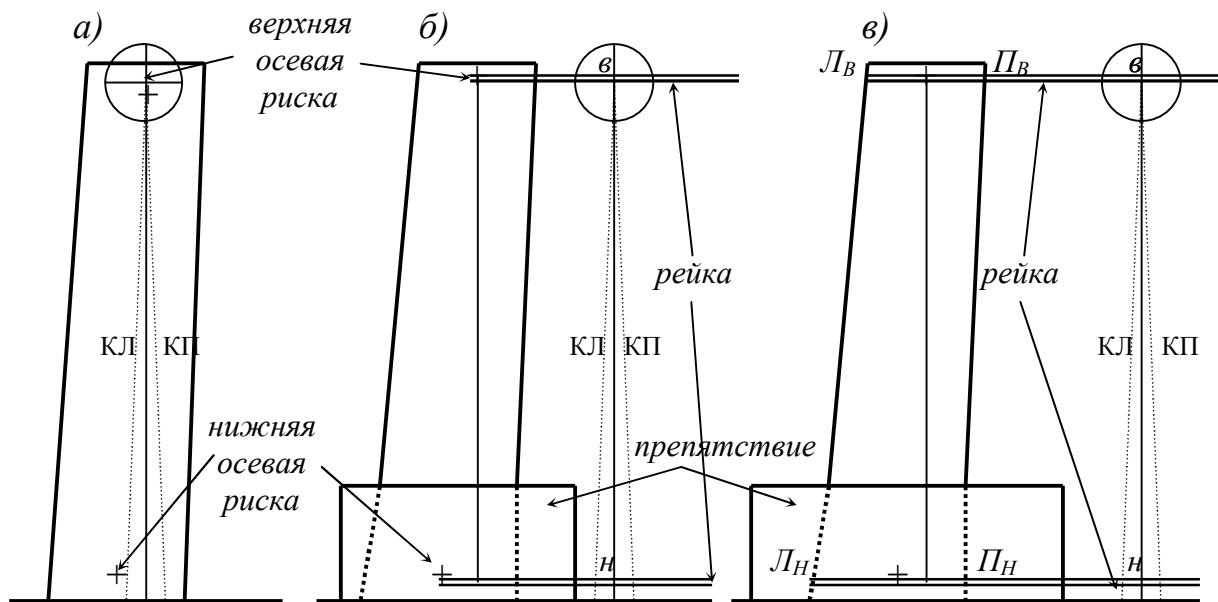


Рис.67. Определение вертикальности колонны с помощью теодолита

Если нижняя осевая риска закрыта препятствием (рис.67, б), то устанавливают теодолит на некотором расстоянии от оси колонны, обеспечивающем видимость рейки, приложенной к верхней и нижней осевым рискам. Визируют при двух положениях вертикального круга на некоторый (для удобства – кратный) отсчет $в$ верхней рейки, берут отсчеты при КЛ и КП по нижней рейке и выводят средний отсчет $н$. Разность отсчетов $н$ и $в$ даст величину и направление крена колонны.

В том случае, когда препятствие большое, требуется использовать длинную рейку, которую с помощью Г – образного приспособления зацепляют за грань колонны (рис.67, в). Взяв отсчеты $ЛВ$, $ПВ$ и $в$ по верхней рейке и отсчеты $ЛН$, $ПН$ и $н$ по нижней рейке, вычисляют крен колонны:

$$K_{изм} = н - в - (ЛН - ЛВ + ПН - ПВ):2 . \quad (64)$$

Найденная величина крена $K_{изм}$ может быть экстраполирована на всю высоту колонны H по формуле:

$$K = K_{изм}H/H_{изм}, \quad (65)$$

где $H_{изм}$ – высота, на которой производились верхние измерения.

• **Вертикальное проектирование с помощью теодолита и рулеток** применяется тогда, когда расстояния $L_B - в$ ($L_H - н$) превышают длину рейки. Такой способ позволяет определять одновременно вертикальность двух соседних колонн в ряду.

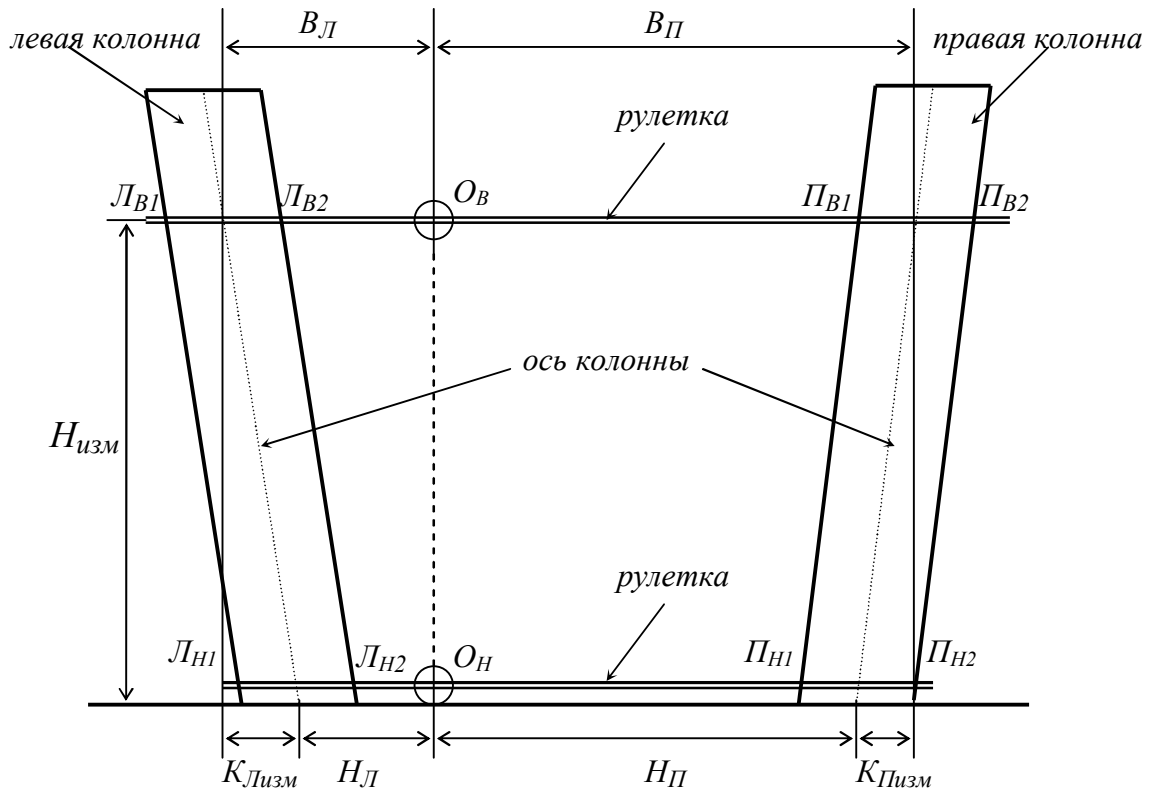


Рис. 68. Определение вертикальности колонн с помощью теодолита и двух рулеток

Его сущность поясняется рис. 68 и заключается в следующем. На высоте $H_{изм}$ натягивают между двумя соседними колоннами желобчатую рулетку, которая закрепляется на колоннах с помощью струбцин. Аналогичным образом закрепляется вторая рулетка на уровне пола цеха. Желобчатая рулетка в натянутом виде обеспечивает вертикальное положение ее полотна. Одновременно с закреплением рулеток берут по ним отсчеты L_{B1} , L_{B2} , P_{B1} , P_{B2} по верхней рулетке и L_{H1} , L_{H2} , P_{H1} , P_{H2} по нижней рулетке.

Устанавливают теодолит между проверяемыми колоннами на противоположной стороне цеха в месте, обеспечивающем видимость шкал верхней и нижней рулеток. Визируют при двух положениях вертикального круга на некоторый отсчет O_B верхней рулетки и берут по вертикальной нити сетки зритель-

ной трубы при КЛ и КП отсчеты по нижней рулетке и выводят средний отсчет O_H .

Крен $K_{изм}$ левой или правой колонны в линейной мере равен разности расстояний $(V_L - H_L)$, $(V_{II} - H_{II})$, где:

$$\begin{aligned} V_L &= O_B - (L_{B1} + L_{B2})/2, \\ H_L &= O_H - (L_{H1} + L_{H2})/2, \\ V_{II} &= -O_B + (P_{B1} + P_{B2})/2, \\ H_{II} &= -O_H + (P_{H1} + P_{H2})/2, \end{aligned} \quad (66)$$

следовательно:

$$\begin{aligned} K_{Лизм} &= [O_B - (L_{B1} + L_{B2})/2] - [O_H - (L_{H1} + L_{H2})/2], \\ K_{Пизм} &= [-O_B + (P_{B1} + P_{B2})/2] - [-O_H + (P_{H1} + P_{H2})/2]. \end{aligned} \quad (67)$$

Положительное или отрицательное значение $K_{изм}$ укажет, в какую сторону наклонена колонна. Так, если $K_{Лизм}$ имеет знак «плюс», то левая колонна наклонена влево, а при знаке «минус» – вправо. Если $K_{Пизм}$ имеет знак «плюс», то правая колонна наклонена вправо, а при знаке «минус» – влево. При однообразной фиксации в зажимном устройстве левого конца рулетки будем иметь равенство отсчетов $L_{B1} = L_{H1}$, поэтому формула (66) для левой колонны упростится и примет вид:

$$K_{Лизм} = O_B - O_H - (L_{B2} + L_{H2})/2. \quad (68)$$

Вычисленные по формулам (66, 67) величины крена $K_{изм}$ могут быть экстраполированы на всю высоту колонны H по формуле (65).

Методика выполнения способа вертикального проектирования с использованием двух рулеток позволяет определять одновременно вертикальность двух соседних колонн в ряду. Основная трудность этого способа заключается в закреплении верхней рулетки на заданной высоте, тем более на уровне оголовка колонн.

• **Вертикальное проектирование с помощью теодолита и ЛЗУ**, позволяющий производить необходимые измерения дистанционно [38].

Для этого на грузоподъемном кране закрепляют вертикально удлинительную штангу с маркой-экраном M так, чтобы эта марка располагалась примерно на уровне оголовка колонн (рис. 69). Перемещают кран с маркой в такое место, когда ее можно будет спроектировать на уровень пола. Наклоняют удлинительную штангу и располагают экран между внутренними боковыми гранями колонн. С помощью теодолита находят на полу цеха проекцию марки M' . При этом удобно использовать установленную горизонтально нивелирную рейку, тогда в качестве точки M' будет фигурировать соответствующий отсчет по шкале этой рейки.

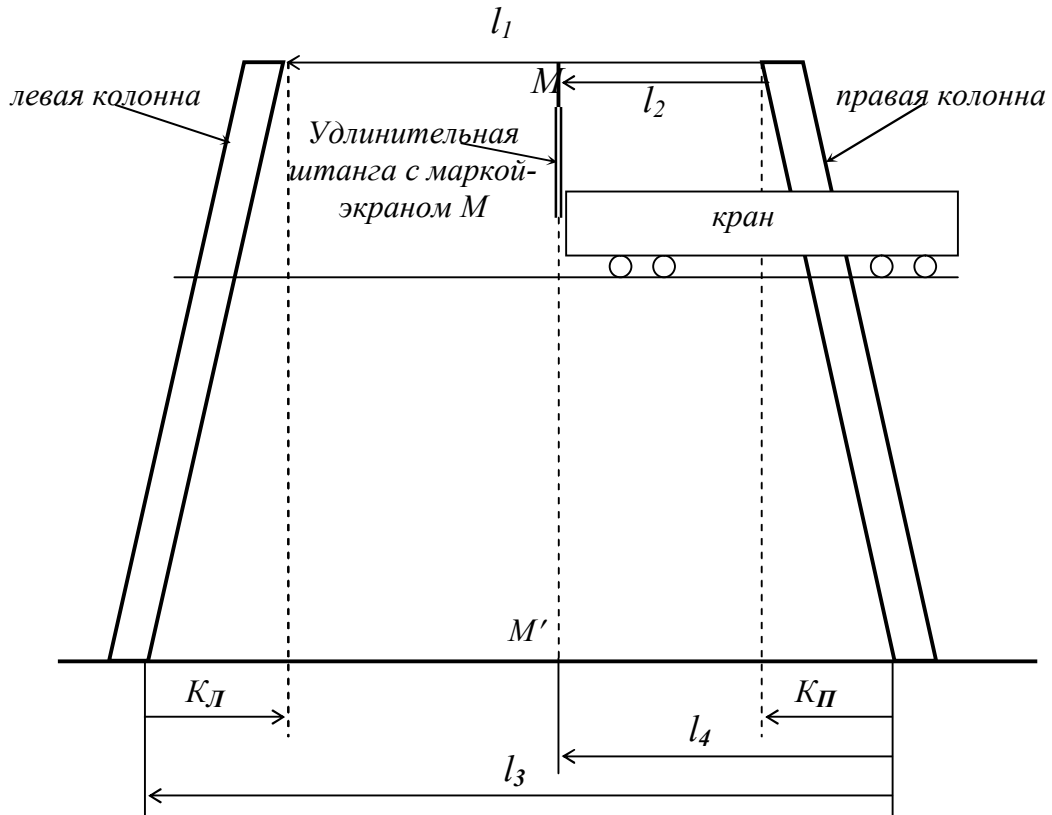


Рис. 69. Односторонний способ измерения вертикальности колонн с помощью лазерно – зеркального устройства

Измеряют с помощью ЛЗУ расстояние l_1 (вверху) между внутренними гранями колонн и l_2 между маркой M и одной из колонн. Аналогичные измерения производят на уровне пола цеха, измеряя расстояние l_3 между внутренними гранями колонн и l_4 между проекцией марки M' и одной из колонн. Возвращают удлинительную штангу с маркой-экраном в вертикальное положение, не препятствующее движению крана, перемещают кран, устанавливают марку между другой парой колонн и действия повторяют. Линейную величину крена $K_{П}$ правой колонны и $K_{Л}$ левой колонны вычисляют по формулам:

$$K_{П} = l_4 - l_2, \quad (69)$$

$$K_{Л} = (l_3 - l_1) - (l_4 - l_2).$$

Получаемые по этим формулам положительные значения $K_{П}$ и $K_{Л}$ означают отклонения от вертикали правой колонны влево, левой колонны вправо, а отрицательные значения указывают на отклонения от вертикали правой колонны вправо, левой колонны влево.

Вообще говоря, линейную величину крена правой и левой колонны можно вычислять по формулам (69), используя в качестве l_1, l_2, l_3 и l_4 соответствующие показания дисплея лазерной рулетки, включающие постоянное слагае-

мое. В этом заключается одно из существенных преимуществ предлагаемого способа, когда на удлинительной штанге ЛЗУ положение зеркала и рулетки могут быть совершенно произвольными, но однообразными при производстве измерений вверху и внизу. Причем, при измерениях внизу удлинительная штанга ЛЗУ может занимать как вертикальное, так и горизонтальное положение.

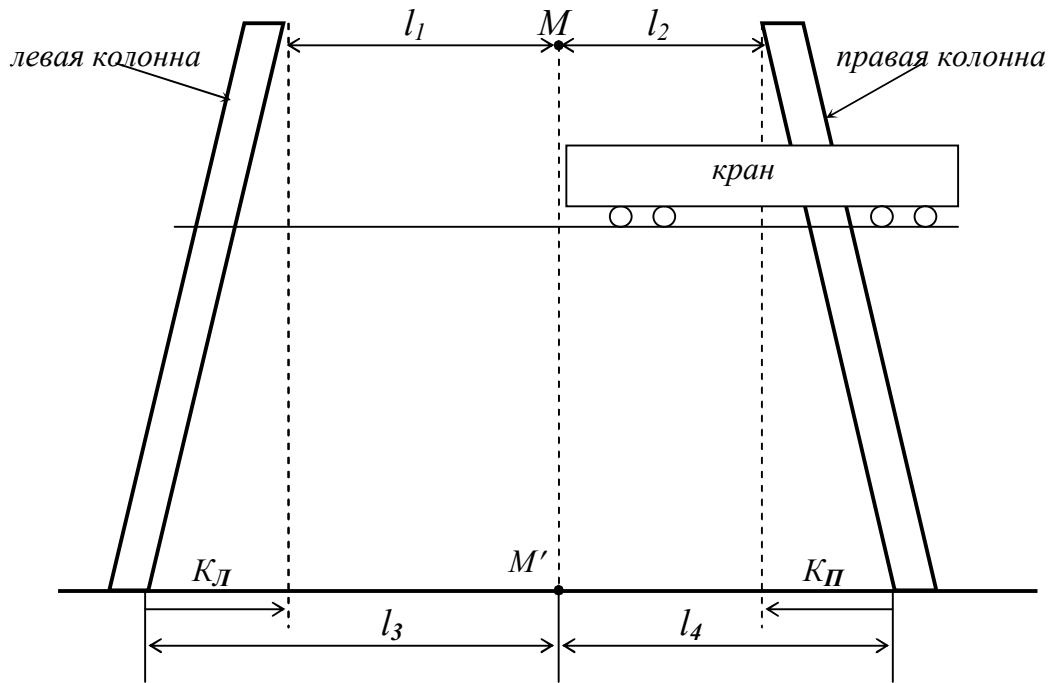


Рис. 70. Двухсторонний способ измерения вертикальности колонн с помощью лазерно – зеркального устройства

Следует отметить, что одним из факторов, оказывающих влияние на точность определения крена колонн лазерно-зеркальным способом, является отклонение плоскости марки-экрана M от вертикали и ее неперпендикулярность лазерному пучку рулетки. Для исключения этого влияния можно, например, использовать марку-экран в виде цилиндра на жесткой маятниковой подвеске с помощью шарнира Гука. Такая подвеска обеспечит вертикальность цилиндра, а минимальное показание на дисплее лазерной рулетки при включённой кнопке «*min/max*», будет соответствовать искомому расстоянию до боковой грани цилиндра. Эту грань можно использовать в качестве марки M и проектировать ее на уровень пола для нахождения проекции M' .

Если (рис. 70) вместо марки-экрана поместить в точку M (а затем в точку M') ЛЗУ и с его помощью измерить расстояния l_1 и l_2 вверху и l_3 и l_4 внизу, то разность соответствующих расстояний даст величину и направление крена K_L и K_P левой и правой колонны.

• **Реечный, безреечный, комбинированный способы** могут применяться в том случае, когда оголовок колонны располагается выше нижнего пояса фермы (рис. 71, а), который закрывает верхнюю осевую риску (рис. 71, б). В этом случае можно поступать по разному. Можно осевую риску наметить под нижним

поясом фермы и применить один из перечисленных выше способов с последующей экстраполяцией результатов измерений на всю высоту колонны.

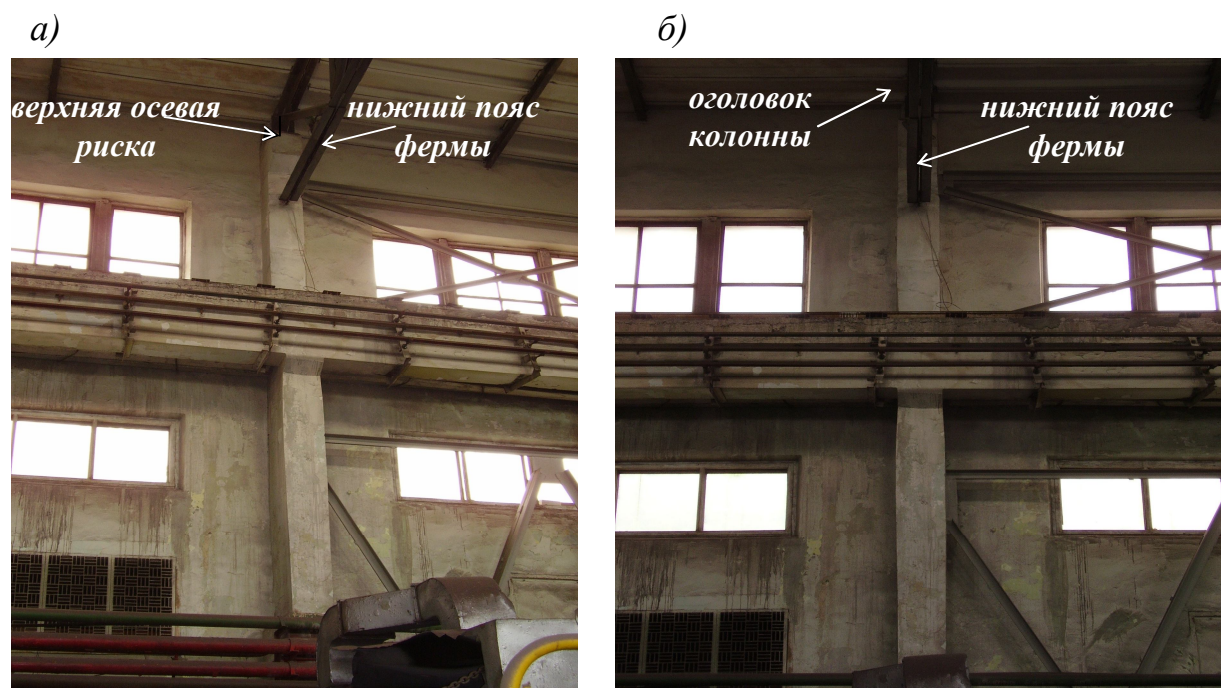


Рис. 71. Конфигурация ферм одного из корпусов ОАО НАЗ «Сокол»: вид сбоку (а), вид спереди (б)

Для этого и других случаев авторами монографии предлагаются реечный, безреечный и комбинированный способы геодезической выверки колонн по вертикали, не требующие переноса верхней осевой риски, задействования мостового крана или выхода работника на крановый путь [48]. Следует сказать, что с пола цеха практически всегда имеется видимость на верх колонн, в то время как низ колонн может быть видимым, невидимым (закрытым каким-то препятствием), доступным или недоступным. В зависимости от этого может применяться тот или иной из предлагаемых способов.

Так, если низ колонны просматривается с противоположной стороны цеха и доступен, то можно применить реечный способ (рис. 72, а). Он заключается в том, что намечают на колонне нижнюю осевую риску и прикладывают к ней рейку, совместив для удобства с рисккой некоторый кратный отсчет на рейке O . С помощью теодолита проектируют на рейку точку L_B (левое ребро колонны) при двух положениях вертикального круга КП и КЛ и берут отсчеты по рейке. Выводят средний отсчет O_L . Аналогичным образом находят средний отсчет O_P , соответствующий проекции точки P_B (правое ребро колонны).

Величину крена K определяют по формуле

$$K = 0,5(O_L + O_P) - O, \quad (70)$$

причем знак K зависит от направления оцифровки рейки. Если оцифровка рейки увеличивается слева направо, то знак «плюс» означает наклон колонны вправо, знак «минус» – влево. И наоборот, при оцифровке рейки справа налево.

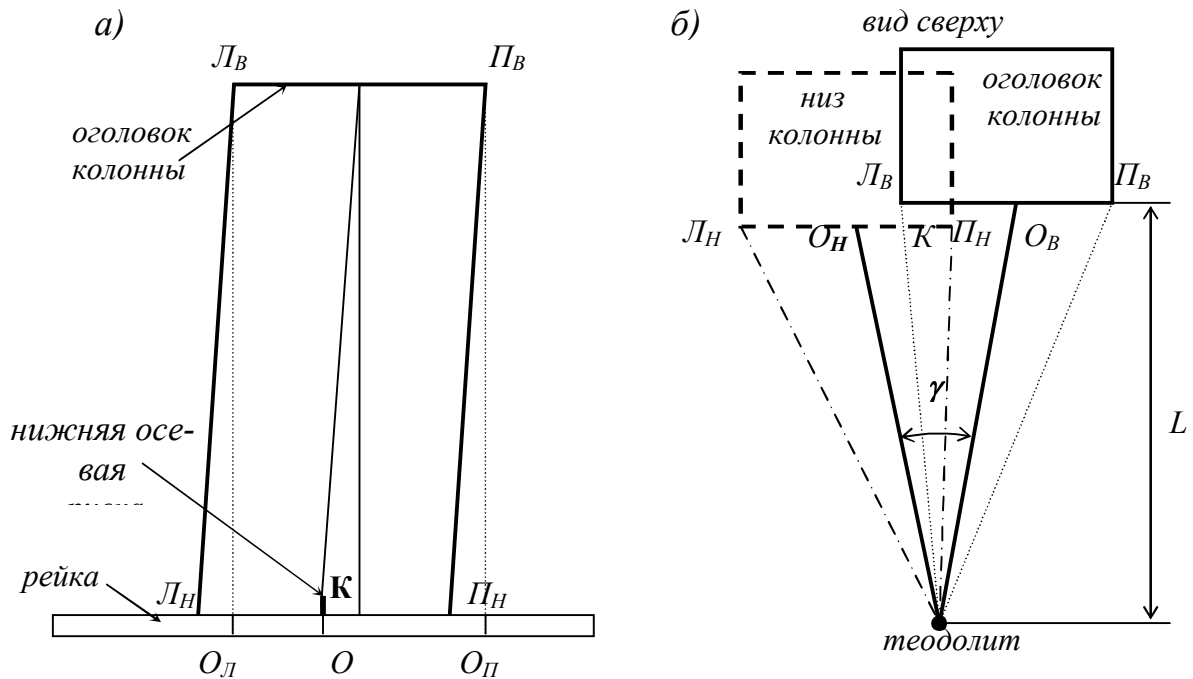


Рис. 72. Реечный (а) и безреечный (б) способы определения крена с помощью теодолита

Безреечный способ определения крена колонны предусматривает только угловые измерения (рис. 72, б). Установив теодолит перед колонной и закрепив лимб, визируют при одном положении вертикального круга (КЛ) на верхние и нижние грани колонны, беря последовательно отсчеты по горизонтальному кругу. Затем действия повторяют при другом положении вертикального круга (КП) и выводят средние отсчеты L_B , $П_B$ и L_H , $П_H$. По ним вычисляют отсчеты $O_B = 0,5(L_B + П_B)$ и $O_H = 0,5(L_H + П_H)$ на воображаемые верхнюю и нижнюю осевые риски колонны. Разность этих отсчетов $\gamma = O_B - O_H$ соответствует крену колонны в угловой мере. Причем, знак этой разницы «плюс» означает крен колонны вправо, знак «минус» – влево. Зная расстояние L от теодолита до колонны, вычисляют крен K в линейной мере по формуле

$$K = L\gamma''/\rho'', \quad \rho'' = 206265'' \quad (71)$$

Если низ колонны закрыт и не просматривается, то может быть применен комбинированный способ: двухсторонний (рис. 73, а) или односторонний (рис. 73, б).

Двухсторонний способ предусматривает определение направления O_B на воображаемую верхнюю осевую риску по изложенной выше методике. А для определения направления O_H на закрытую нижнюю осевую риску используют

рейку, визируя при двух положениях вертикального круга теодолита на видимые левый и правый отсчеты рейки, равноудаленные от оси колонны или от ее боковых граней. Если нет возможности приложить рейку непосредственно к передней грани колонны, то используют две рейки. Их прикладывают горизонтально нулевыми делениями к нижним боковым граням колонны и визируют на одноименные видимые деления реек. Величину крена вычисляют по формуле (70).

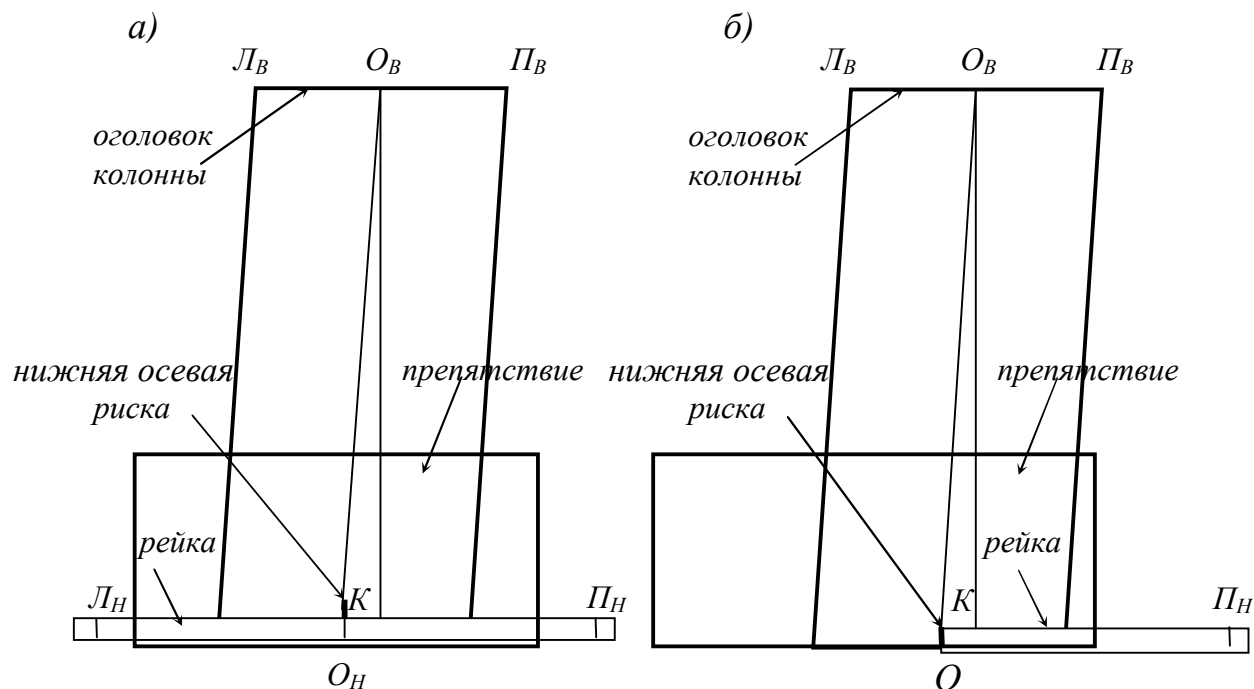


Рис. 73. Комбинированный способ: двухсторонний (а) и односторонний (б)

Односторонний способ также предусматривает определение направления O_B на воображаемую верхнюю осевую риску по изложенной выше методике. А для определения направления O_H на закрытую нижнюю осевую риску используют рейку, которую прикладывают нулем к нижней осевой риске или к боковой грани колонны (рис. 73, б). Визируют при двух положениях вертикального круга теодолита на видимый отсчет рейки (в нашем случае правый) и выводят средний отсчет по горизонтальному кругу Π_H . Зная длину отрезка $O\Pi_H$ и расстояние L от теодолита до колонны, вычисляют:

$$\operatorname{tg}\beta = O\Pi_H : L, \quad (72)$$

по значению которого находят угол β .

Направление O_H на закрытую нижнюю осевую риску при правостороннем расположении рейки находят как разность $O_H = \Pi_H - \beta$. При левостороннем расположении рейки $O_H = L_H + \beta$. Величину крена вычисляют по формуле (71).

Перечисленные способы прошли испытания в лабораторных и производственных условиях, в результате которых установлено, что они дают практически одинаковые результаты и по точности не уступают обычным способам [48].

• **Координатный способ** геодезической выверки колонн по вертикали предусматривает применение электронных тахеометров с пассивным отражением [48]. Установив вместо теодолита (рис. 72, б) такой тахеометр и определив в условной системе прямоугольные координаты X_B, Y_B верхней осевой риски и X_H, Y_H нижней осевой риски, можно вычислить крен колонны сразу в двух взаимно перпендикулярных направлениях:

$$\begin{aligned} K_X &= X_B - X_H, \\ K_Y &= Y_B - Y_H, \end{aligned} \quad (73)$$

причем оси X и Y условной системы координат выбирают параллельными строительным осям сооружения. Кроме того, если сечение оголовка колонны отличается от сечения ее низа, то это следует учитывать в формулах (73).

При отсутствии осевых рисок могут быть определены координаты верхних L_B, P_B и нижних L_H, P_H точек колонны (рис. 72, б), по которым можно вычислить средние координаты X_B, Y_B и X_H, Y_H .

Наконец, если низ колонны закрыт каким-либо препятствием, то можно применить описанные выше комбинированные способы. В двухстороннем комбинированном способе следует определять координаты двух одноименных видимых делений реек и по ним вычислять средние координаты X_H, Y_H . В одностороннем комбинированном способе достаточно определить координаты X_{II}, Y_{II} отсчета по рейке P_H при правостороннем ее расположении или X_{II}, Y_{II} отсчета по рейке L_H при левостороннем ее расположении. Если ось X условной системы координат направлена перпендикулярно ряду колонн, а ось Y совпадает с направлением этого ряда, то координата X_H оси колонны будет равна координате X_{II} или X_{II} отсчета по рейке P_H или L_H . Координату Y_H можно найти, зная расстояния OP_H или OL_H от оси колонны до соответствующего отсчета по рейке:

$$\begin{aligned} Y_H &= Y_{II} - OP_H, \\ Y_H &= Y_{II} + OL_H, \end{aligned} \quad (74)$$

а крен колонны K_X и K_Y вычислять по формулам (73).

О некоторых практических приёмах выполнения этих операций можно прочесть в работе [25]. Тахеометр устанавливают в точке T (рис. 74), визируют на точку A и в режиме координатных измерений вводят исходные данные: координаты станции $X_0 = 0, Y_0 = 0, H_0 = 0$; высоту инструмента $Выс-И = 0$; высоту визирной цели $Выс-Ц = 0$; дирекционный угол на точку $A - ГУ = 0$. После этого последовательно измеряют прямоугольные координаты точек A и B и вычисляют по формулам (73) крен колонны по осям X и Y .

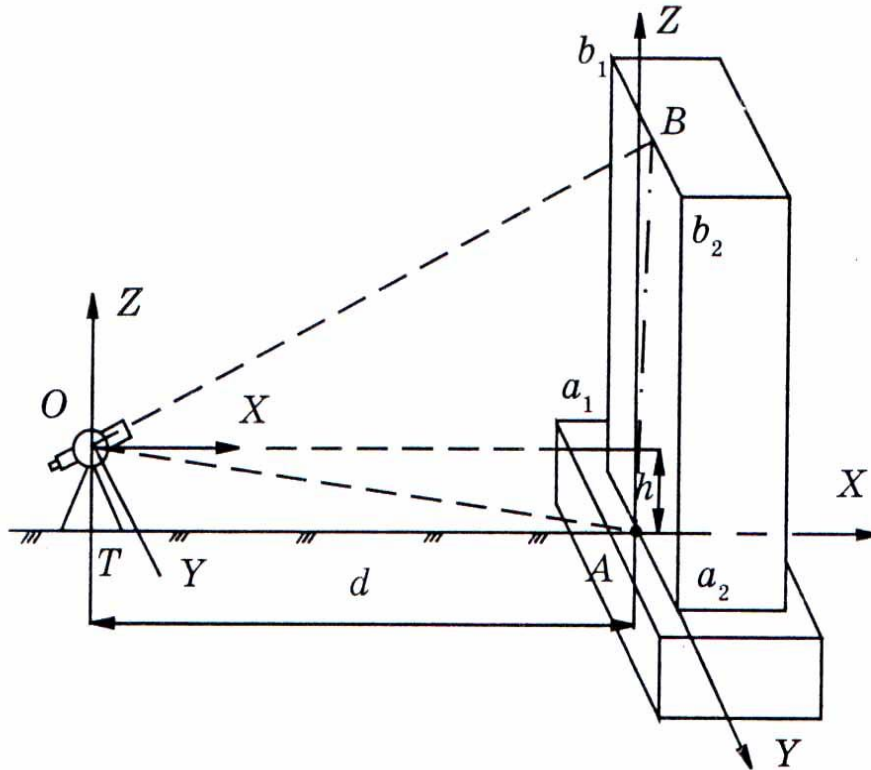


Рис. 74 . Схема измерений электронным тахеометром

При другом варианте работ за начало условной системы координат принимают точку A . При этом варианте на экране сразу высвечиваются значения искомых отклонений K_X и K_Y .

Если требуется определить отметки точек A и B в геодезической системе высот или системе строительных чертежей здания, то надо сделать привязку станции T к реперу и учесть это при вводе исходных данных.

При отсутствии маркировки точек A и B на гранях колонны, последовательно визируют на её левое и правое ребра внизу a_1, a_2 и вверху b_1, b_2 , беря отсчеты по горизонтальному кругу. Средние отсчеты будут соответствовать направлениям на точки A и B .

• **Использование приборов вертикального проектирования** заключается в измерении расстояний от вертикальной визирной оси или лазерного луча до нижней и верхней (а при необходимости и до промежуточных) точек колонны, которые по техническим условиям должны располагаться на одной вертикальной линии. Проектирование может быть сквозное на всю высоту колонны или ступенчатое.

Пример сквозного проектирования с использованием прибора ПЗЛ при геодезической выверке колонн, облицованных кафелем, в одном из цехов ОАО НАЗ «СОКОЛ» приведен на рис. 75, а.

Прибор ПЗЛ устанавливался у колонны и приводился в рабочее положение по круглому уровню. При этом его визирный луч с помощью маятникового компенсатора автоматически занимал вертикальное положение.

На уровне пола измерялось расстояние n от кафельной облицовки до отвеса прибора. По вертикальному визирному лучу при двух положениях прибора, соответствующих направлению действия его маятникового компенсатора, определялось расстояние v по горизонтальной рейке на доступной для измерений высоте $H_{изм}$.

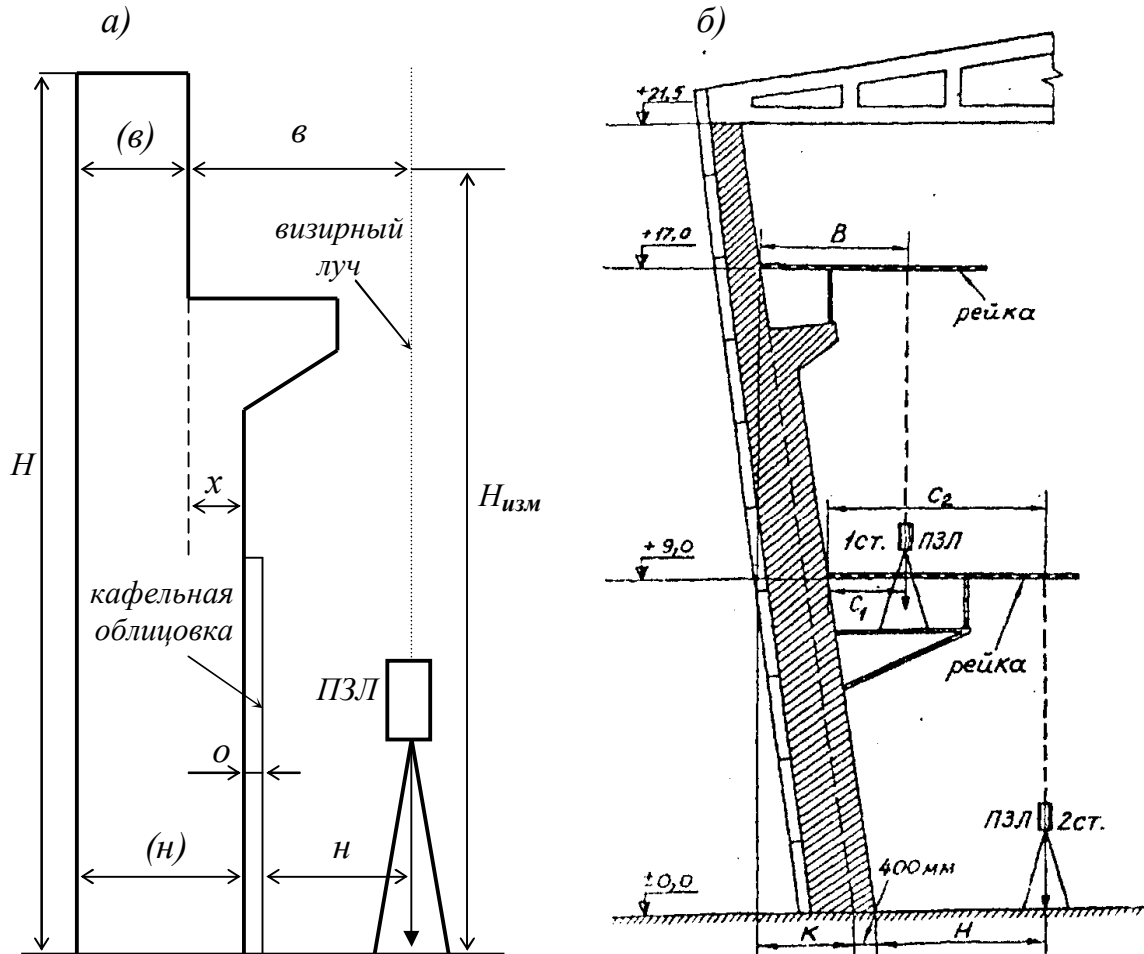


Рис. 75. Схема сквозного (а) и ступенчатого (б) вертикального проектирования

По этим данным можно вычислить линейную величину крена $K_{изм}$:

$$K_{изм} = n + o + x - v, \quad (75)$$

где o – толщина кафельной облицовки; x – разность ширины колонны по низу (n) и по верху (v).

Если величина x неизвестна, то она может быть установлена путем измерения (n) и (v), либо путем измерения v на уровне подкрановых путей и n непосредственно под консольной опорой. Для этого можно использовать прибор ПЗЛ, или отвес, или метод бокового нивелирования с помощью теодолита. Найденная величина крена $K_{изм}$ может быть экстраполирована на всю высоту колонны H по формуле (65).

Пример ступенчатого проектирования с использованием прибора ПЗЛ при геодезической выверке колонн в машинном зале одной из ТЭЦ Нижегородской области приведен на рис. 75, б.

Вначале прибор устанавливают на станции 1 и измеряют расстояние C_1 от внутренней грани колонны до отвеса прибора на отметке +9,0 м. По вертикальному визирному лучу ПЗЛ при двух положениях прибора, соответствующих направлению действия его маятникового компенсатора, определяют расстояние B по горизонтальной рейке, прикладываемой к внутренней грани колонны на доступной для измерений высоте (у нас +17,0 м). По этим данным вычисляют линейную величину частного крена:

$$K_1 = B - C_1 - 400 \text{ мм} . \quad (76)$$

Затем прибор ПЗЛ устанавливают на станции 2 на отметке $\pm 0,0$ м. Измеряют расстояние H от нижней внутренней грани колонны до отвеса прибора и по вертикальному визирному лучу ПЗЛ определяют по рейке с контролем расстояние C_2 на отметке +9,0 м. Вычисляют линейное значение второго частного крена:

$$K_2 = C_2 - H. \quad (77)$$

Полный крен колонны между отметками 0,0 – 17,0 м находят как алгебраическую сумму частных кренов:

$$K = K_1 + K_2 . \quad (78)$$

Знак K полного крена «плюс» означает отклонение колонны от вертикали наружу, а знак «минус» – отклонение колонны от вертикали внутрь цеха. Если между значениями частных кренов наблюдается определенная закономерность в их величине и направлении, то полный крен может быть экстраполирован на всю высоту колонны до отметки +21,5 м.

Для вертикального проектирования можно использовать нивелир с насадкой на объектив в виде пентапризмы. Двумя-тремя приемами обеспечивается проектирование точки на высоту 50 м с ошибкой 2 – 3 мм, а использование нивелира с самоустанавливающейся линией визирования повышает точность проектирования.

• **Способ бокового нивелирования.** Если имеется возможность установить теодолит в одном конце цеха на площадке, расположенной лучше всего на высоте примерно $H_{изм} : 2$, то с одной станции можно проверить вертикальность всех колонн в ряду в направлении, перпендикулярном оси рельсового пути мостового крана. Этот способ бокового нивелирования применим в случае наличия видимости отсчетов по рейке, прикладываемой горизонтально поочередно к верхней и нижней боковым граням колонн в данном ряду. Способ

удобен при определении крена опорных колонн промышленных цехов, открытых крановых эстакад, стен высоких зданий и сооружений.

В цехе или вне его на некотором расстоянии, например, от оси колонн (80-100 см) отмечают створ AA . На одном конце створа устанавливают теодолит и ориентируют зрительную трубу по линии AA (рис. 76).

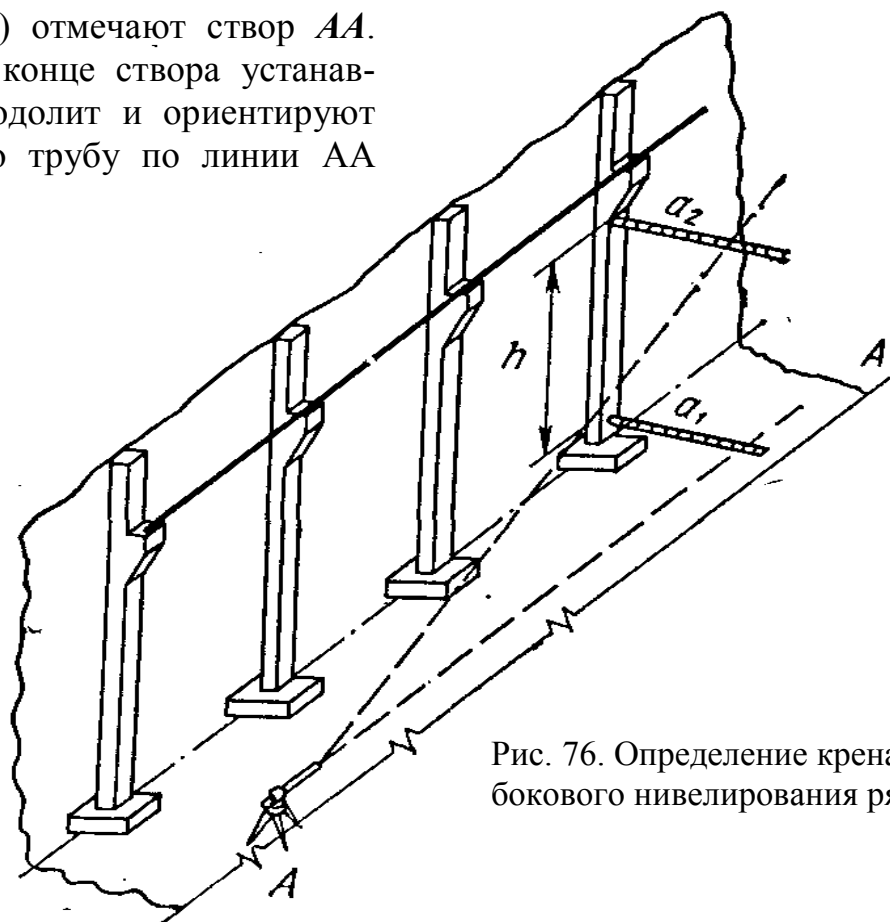


Рис. 76. Определение крена способом бокового нивелирования ряда колонн

Затем прикладывают поочередно к каждой колонне сверху и снизу специальную рейку, берут по ней отсчеты при двух положениях вертикального круга $KЛ$ и $KП$ и выводят средние отсчеты a_1 и a_2 . По разности отсчетов судят о величине и направлении крена:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a_1 - a_2}{h} \quad (79)$$

Причем, если ошибка определения разности отсчетов $m_{\Delta a}$ равна 3 мм, то при $h = 10$ м получим ошибку определения крена в угловой мере, равную примерно $60''$. Эта ошибка может быть вычислена по формуле

$$m_\gamma = \frac{m_{\Delta a}}{h} \rho, \quad \rho = 206265'' \quad (80)$$

По результатам таких измерений могут быть построены графики, характеризующие крен колонн цеха в направлении перпендикулярном оси пролета. Такие графики для машинного зала одной из ТЭЦ Нижегородской области представлены на рис. 77.

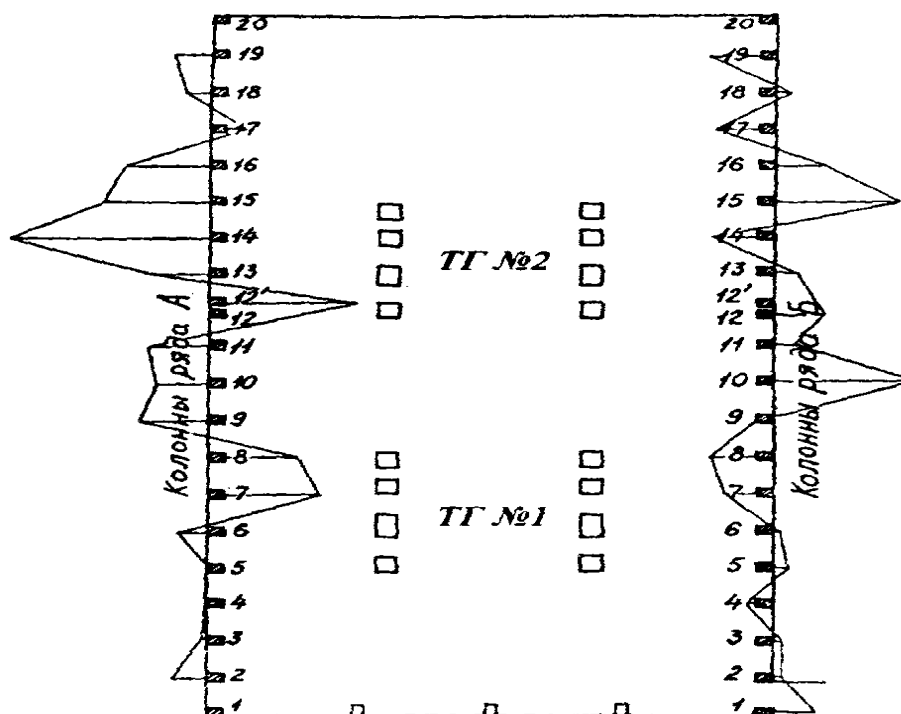


Рис. 77. Схема расположения колонн и графики их полного крена

• **Использование шнурового отвеса и лазерной рулетки** может решить задачу геодезической выверки колонн, если применение перечисленных выше методов затруднено или невозможно. Здесь основные трудности выполнения операции заключается в его подвеске, регулировании длины отвеса, гашении его колебаний и измерении расстояний от отвеса до конструкции.

В качестве демпфера для гашения колебаний отвеса можно использовать любую емкость, заполненную водой с опилками. При отсутствии таковой необходимо наблюдать колебания отвеса и из крайних левых – правых отсчетов по рейке выводить средний.

Подвешивать отвес можно на ограждающие перила мостового крана, фермы перекрытия цеха. Удобно закреплять отвес на рейке, прислоняя которую горизонтально к грани колонны будем всегда иметь фиксированный отсчет.

Регулирование длины отвеса может осуществляться с помощью небольшого бочка для наматывания на него шнура, с помощью пластины с двумя отверстиями, в которые пропускается шнур и которая действует как аналогичная пластинка у отвесов геодезических приборов для регулирования их длины. Наконечник, длина отвеса может регулироваться с помощью обычного петельного узла.

Определенный интерес представляет сочетание тяжелого шнурового отвеса с лазерной рулеткой (ЛР) или лазерно-зеркальным устройством (ЛЗУ)

для контроля вертикальности колонн, стен, расположенных, например, в торцевых частях цеха. В этом случае расстояние от крана до этих объектов может составлять несколько метров и быть недоступным для непосредственных измерений.

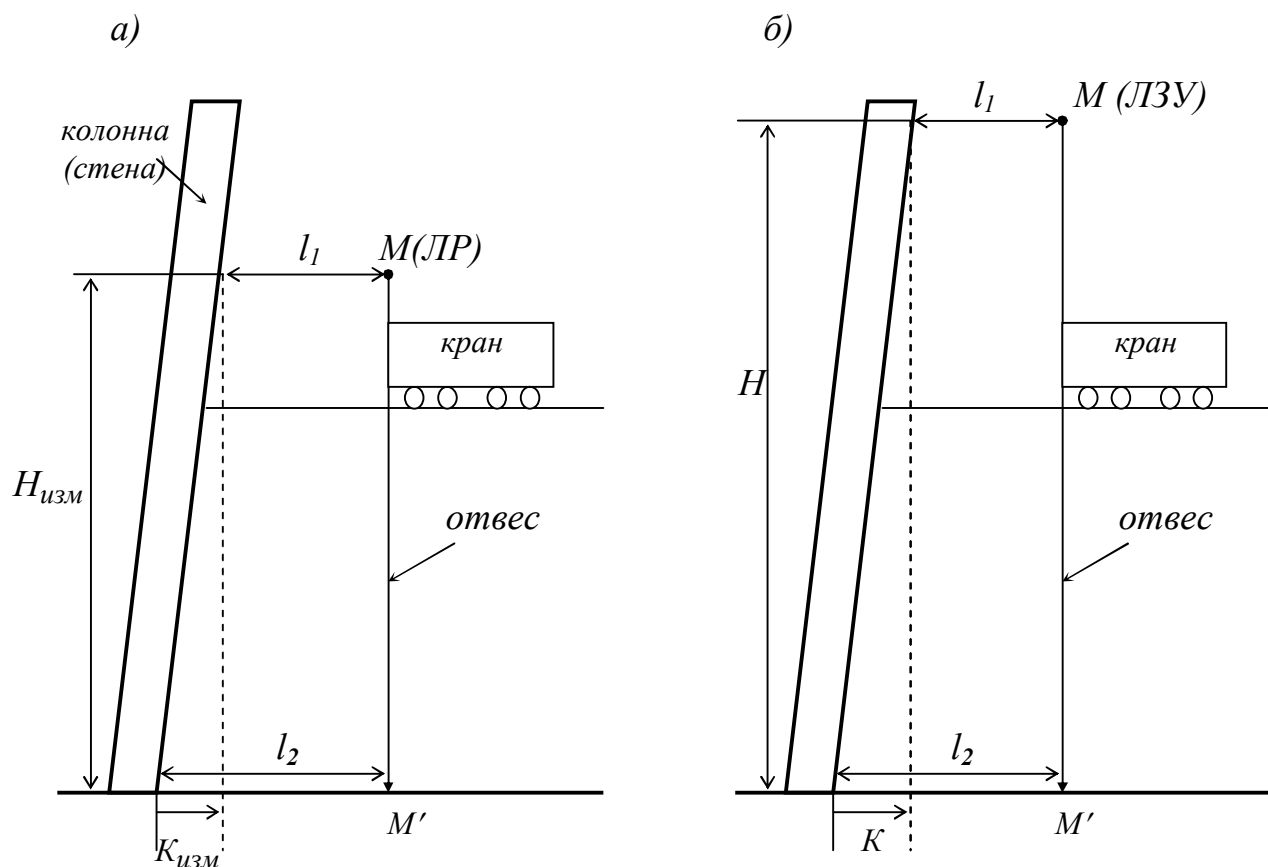


Рис. 78. Контроль вертикальности конструкций с помощью шнурового отвеса и лазерной рулетки ЛР (а) или ЛЗУ (б)

Для контроля вертикальности колонны (стены) можно, например, к перилам крана подвесить в точке M отвес и с помощью лазерной рулетки измерить расстояние l_1 на высоте $H_{изм}$ (рис. 78, а). Аналогично измеряют на уровне пола цеха от точки M' расстояние l_2 . Величину и направление крена $K_{изм}$ находят по разности этих расстояний. При необходимости величина $K_{изм}$ может быть экстраполирована на всю высоту H колонны (стены) по формуле (65).

Если отвес подвесить к удлинительной штанге лазерно-зеркального устройства (в районе зеркала), то можно измерить расстояние l_1 на уровне оголовка колонны и по значениям l_1 и l_2 получить сразу величину полного крена K (рис. 78, б).

• **Косвенные способы определения высоты и крена** строительных конструкций с использованием лазерной рулетки (рис. 79) заключаются в следующем [38].

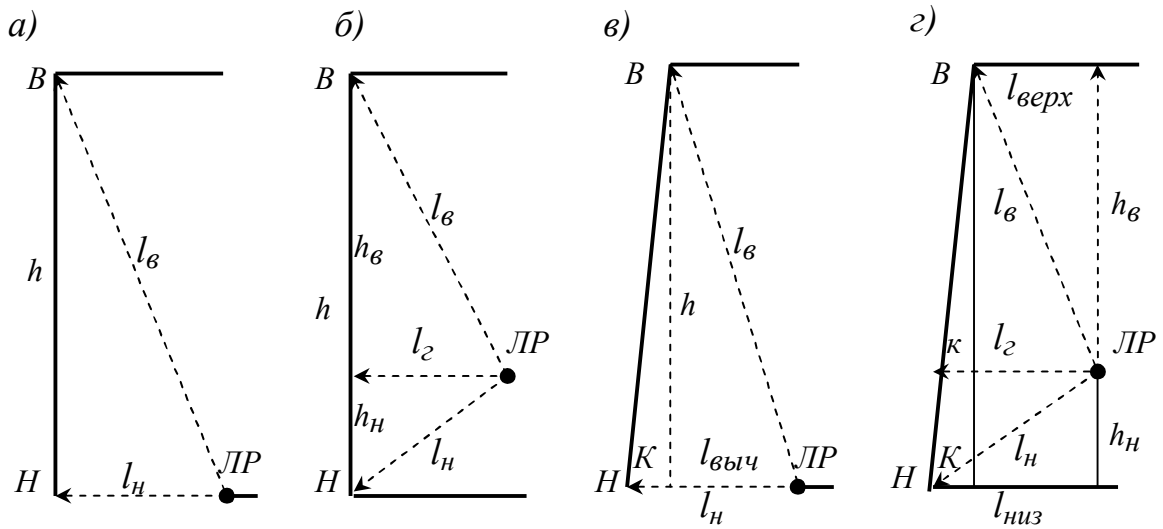


Рис. 78. Схемы косвенного определения высоты и крена строительных конструкций (пунктиром показаны измеряемые лазерной рулеткой ЛР отрезки)

С помощью лазерных рулеток, снабженных кнопкой «Косвенные измерения», можно определять, например, высоту h стены, колонны и др. Для этого (рис. 79, а) достаточно, нажав эту кнопку, измерить на уровне пола горизонтальное расстояние l_n до нижней точки H и наклонное расстояние l_g до верхней точки B . На экране дисплея появится результат, соответствующий величине $h = HB$.

В том случае (рис. 79, б), когда измерения на уровне пола цеха невозможны, их можно произвести на некоторой высоте от пола со штатива или любой удобной точки технологического оборудования. Измерив, при нажатой кнопке «Косвенные измерения», расстояние l_2 (горизонтальность которого контролируется по уровню на рулетке) и наклонное расстояние l_n , получают расстояние h_n . Аналогичным образом определяют расстояние h_g , измерив вновь горизонтальное расстояние l_2 и наклонное расстояние l_g . Тогда высота строительной конструкции h будет равна сумме $(h_n + h_g)$.

Описанная методика (рис. 79, а, б) может быть применена для определения крена K строительной конструкции. В первом случае (рис. 79, в) измеряют l_n , l_g и h . По значениям l_g и h находят $l_{выч}$. Величину крена K в линейной мере вычисляют как разность $(l_n - l_{выч})$. Во втором случае (рис. 79, г) измеряют l_n , l_2 , l_g и h_g . По значениям l_n и l_2 вычисляют h_n и находят высоту конструкции как сумму $(h_n + h_g)$. Вычислив по измеренным значениям l_g и h_g

отрезок $l_{\text{верх}}$, определяют на уровне лазерной рулетки величину частного крена K в линейной мере как разность $(l_2 - l_{\text{верх}})$ и полученную величину экстраполируют на всю высоту строительной конструкции, то есть находят полный крен:

$$K = \kappa(1 + h_n : h_v). \quad (81)$$

Если есть возможность измерить h_n непосредственно, то по значениям l_n и h_n находят отрезок $l_{\text{низ}}$, а надобность в измерении l_2 отпадает. Немаловажным достоинством методик, показанных на (рис. 79, а, б, в, г) является возможность производства всех измерений с пола цеха без необходимости подъема работников кверху сооружения.

По изложенной выше методике можно определить горизонтальное расстояние AB , недоступное для непосредственных измерений (рис. 80).

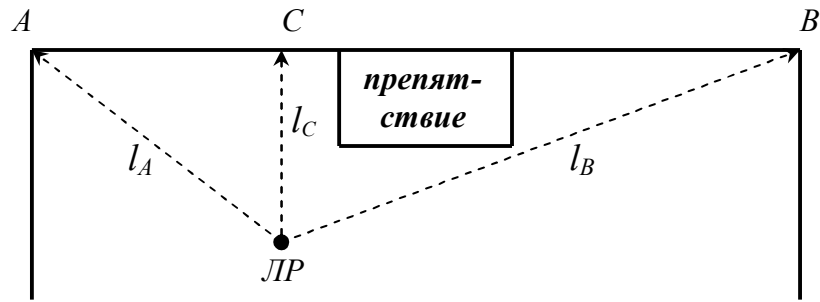


Рис. 80. Схема определения недоступного расстояния

Эта задача может решаться двояко. В первом случае отмечают в углах и на стене точки A, B, C . Располагаются с лазерной рулеткой LP в таком месте, с которого имеется видимость на все три точки, причем направление $LP - C$ должно быть перпендикулярно линии AB . Измеряют при нажатой кнопке «Косвенные измерения» горизонтальные расстояния l_A и l_C и получают на экране дисплея отрезок AC . Аналогичным образом измеряют расстояния l_C и l_B , и получают на экране дисплея отрезок CB . Общее расстояние AB будет равняться сумме полученных отрезков. Недостатком этого способа является необходимость маркирования точек A, B, C и обеспечения взаимного расположения LP и точки C на линии перпендикулярной AB .

Эти недостатки можно устранить следующим образом. Располагаются с лазерной рулеткой в произвольном месте, с которого имеется видимость на воображаемые точки A, B, C . При нажатой кнопке «min/max» направляют лазерный пучок левее воображаемой точки A и, включив кнопку «Измерение», поворачивают рулетку в горизонтальной плоскости до тех пор, пока лазерный пучок не расположится заведомо правее воображаемой точки C . На экране дисплея появятся два значения, одно из которых будет соответствовать макси-

мальному расстоянию l_A , а другое будет равняться минимальному расстоянию l_C , причем по перпендикулярному к AB направлению. Аналогичным образом измеряют расстояние l_B , располагая лазерный пучок левее-правее воображаемой точки B . Если между точками A и C имеются посторонние предметы, то измерения l_A и l_C производят независимо друг от друга. По измеренным отрезкам вычисляют расстояния AC и CB , которые в сумме дадут искомое расстояние AB . Достоинством такой методики является, во-первых, возможность производства измерений с пола цеха. Во-вторых, недоступные расстояния при необходимости могут быть измерены на различных горизонтах сооружения.

7. Контроль соосности колонн зданий и сооружений

Анализ технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений (в частности колонн) предусматривает, кроме прочих, использование результатов геодезического контроля соосности таких колонн в ряду. При этом особый интерес представляет отклонение верха колонн от оси сооружения, под которой будем понимать линию, соединяющую нижние центры начальной и конечной колонн в ряду.

Определение соосности колонн в ряду может осуществляться путем створных измерений от некоторой прямой, называемой референтной или от вертикальной плоскости, формируемых в пределах контролируемого участка.

Следует сказать, что в условиях действующего предприятия выполнение створных измерений от вертикальной плоскости путем одновременного бокового нивелирования верха и низа колонн зачастую бывает затруднено или невозможно ввиду недоступности низа колонн из-за насыщенности производственных помещений технологическим оборудованием. Поэтому нами были разработаны способ бокового нивелирования только верха колонн путем оптического визирования и методика приведения результатов измерений к оси сооружения [36].

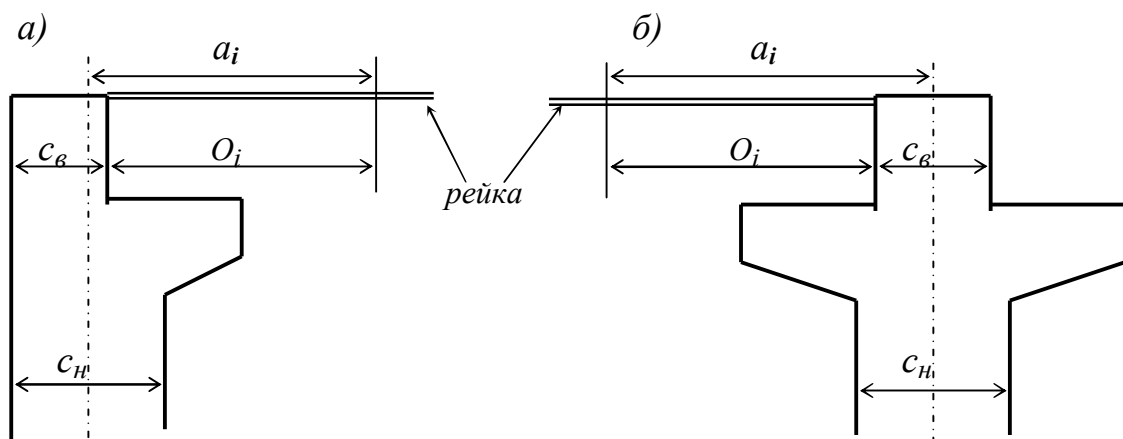


Рис. 81. Схемы к определению приведенных к оси колонны отсчетов

Процесс измерений заключается в следующем. Теодолит устанавливают на некотором расстоянии от ряда колонн в месте, обеспечивающем видимость верха всех колонн (например, на тормозной площадке нерабочего крана или иной площадке). Визирный луч зрительной трубы ориентируют приблизительно параллельно этому ряду. Затем, последовательно прикладывая нивелирную рейку горизонтально к верхней грани каждой колонны, берут отсчеты O_i по вертикальной нити сетки зрительной трубы (рис. 81).

Эти отсчеты приводят к осям колонн, вводя в них поправки, учитывающие размеры колонн понизу c_n и поверху c_b . Так, в первом случае (рис. 81, а) приведенный отсчет $a_i = O_i + c_b - c_n/2$, а во втором случае (рис. 81, б) $a_i = O_i + c_b/2$. Причем, проекция визирной оси зрительной трубы теодолита на горизонтальную плоскость будет играть роль референтной линии, относительно которой ряд колонн может находиться слева или справа (рис. 82).

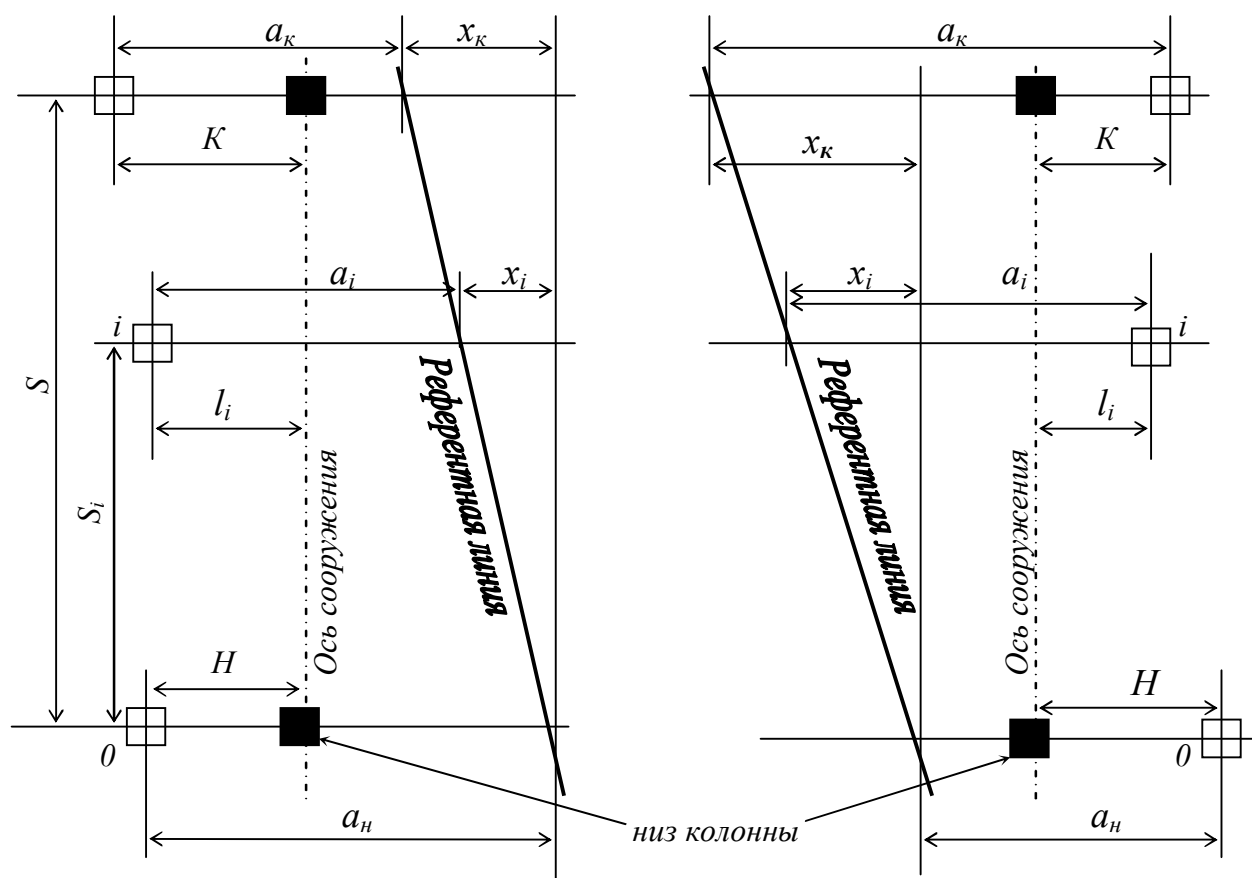


Рис. 82. Схемы к определению отклонения верха колонн от оси сооружения

Произвольное расположение референтной линии требует определения ее ориентирования относительно оси сооружения. Для этого одним из доступных способов вертикального проектирования (с помощью специальных приборов, теодолита, отвеса и др.) измеряют отклонения от вертикали осей начальной и

конечной колонн ряда, а именно величины H и K в направлении, перпендикулярном оси сооружения (рис. 82). При этом для левого ряда колонн отклонение верха начальной H , конечной K и i -той колонны l_i влево от оси сооружения принимается со знаком «плюс», вправо H' , K' и l'_i – со знаком «минус». И наоборот, для правого ряда колонн отклонение верха начальной H , конечной K и i -той колонны l_i вправо от оси сооружения принимается со знаком «плюс», влево H' , K' и l'_i – со знаком «минус». Сами колонны нумеруются, начиная с нуля, то есть $0, 1, 2 \dots i \dots n$.

Согласно рис. 81, для левого ряда колонн справедливы равенства $a_i + x_i - l_i = a_n - H$, $x_k = (a_n - H) - (a_k - K)$, а для правого ряда колонн $a_i - x_i - l_i = a_n - H$, $x_k = (a_k - K) - (a_n - H)$ и в обоих случаях $x_i = x_k S/S_i$. Решая эти равенства относительно l_i , получим следующее выражение:

$$l_i = a_i - (a_n - H)(1 - S/S_i) - (a_k - K) S/S_i. \quad (82)$$

В этом выражении вместо отношения расстояний S/S_i можно использовать соответствующее отношение номеров колонн i/n , а значения H и K вводить в формулу со знаком «плюс», значения H' и K' – со знаком «минус». По этой формуле можно получить положительное или отрицательное значение отклонения верха i -той колонны. Положительное значение соответствует отклонению l_i , отрицательное соответствует отклонению l'_i .

Рассмотрим все возможные случаи сочетания H , K , H' , и K' для следующего примера: $S = 78$ м, $S_i = 48$ м, $n = 13$, $i = 8$, $S/S_i = i/n = 0,615$. В табл. 3 результаты измерений и вычислений даны в миллиметрах.

Таблица 3

Пример вычисления отклонения верха колонн
от оси сооружения

a_i	a_n	H	H'	a_k	K	K'	l_i	l'_i
Левый ряд колонн								
36	53	10		30	15		10	
11	53	10		30	15			15
36	28		15	5		10	10	
11	28		15	5		10		15
36	28		15	30	15		10	
11	28		15	30	15			15
36	28		15	30	15		10	
11	28		15	30	15			15
36	53	10		5		10	10	
11	53	10		5		10		15
Правый ряд колонн								
41	30	10		53	15		10	
16	30	10		53	15			15
41	5		15	28		10	10	

a_i	a_n	H	H'	a_k	K	K'	l_i	l'_i
16	5		15	28		10		15
41	5		15	53	15		10	
16	5		15	53	15			15
41	30	10		28		10	10	
16	30	10		28		10		15

Применение лазерно-зеркального способа дистанционных измерений позволяет совместить процесс определения отклонения верха колонн от оси сооружения с контролем расстояния между ними в пролете [43]. Это обеспечивается сочетанием бокового нивелирования верха колонн одного ряда и лазерно-зеркального способа измерения расстояний между колоннами в пролете с последующим приведением результатов измерений к осям сооружения.

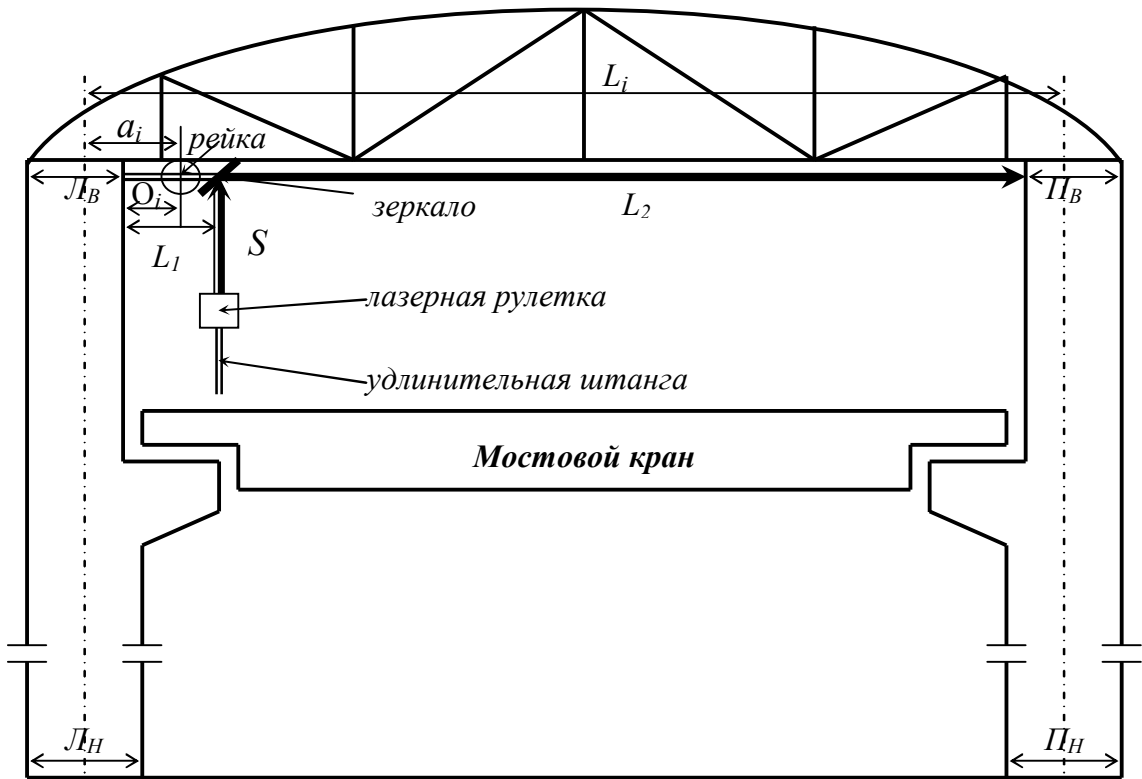


Рис. 83. Схема к определению приведенных к осям колонн результатов измерений

Процесс измерений заключается в следующем. Теодолит устанавливают на некотором расстоянии от ряда колонн в месте, обеспечивающем видимость верха всех колонн этого ряда. Удобнее всего использовать для этого тормозную площадку нерабочего крана. Визирный луч зрительной трубы ориентируют приблизительно параллельно этому ряду. Затем, последовательно прикладывая закрепленную на удлинительной штанге ЛЗУ нивелирную рейку (известной длины L_1) горизонтально к верхней грани каждой колонны, берут отсчеты O_i по вертикальной нити сетки зрительной трубы теодолита (рис. 83). При этом, про-

екция визирной оси зрительной трубы теодолита на горизонтальную плоскость будет играть роль референтной линии, произвольно ориентированной относительно оси сооружения (рис. 84). Одновременно с помощью лазерной рулетки измеряют величину L_2 . Результаты измерений приводят к осям колонн, вводя в них поправки, учитывающие размеры колонн левого и правого ряда понизу L_H , Π_H и поверху L_B , Π_B .

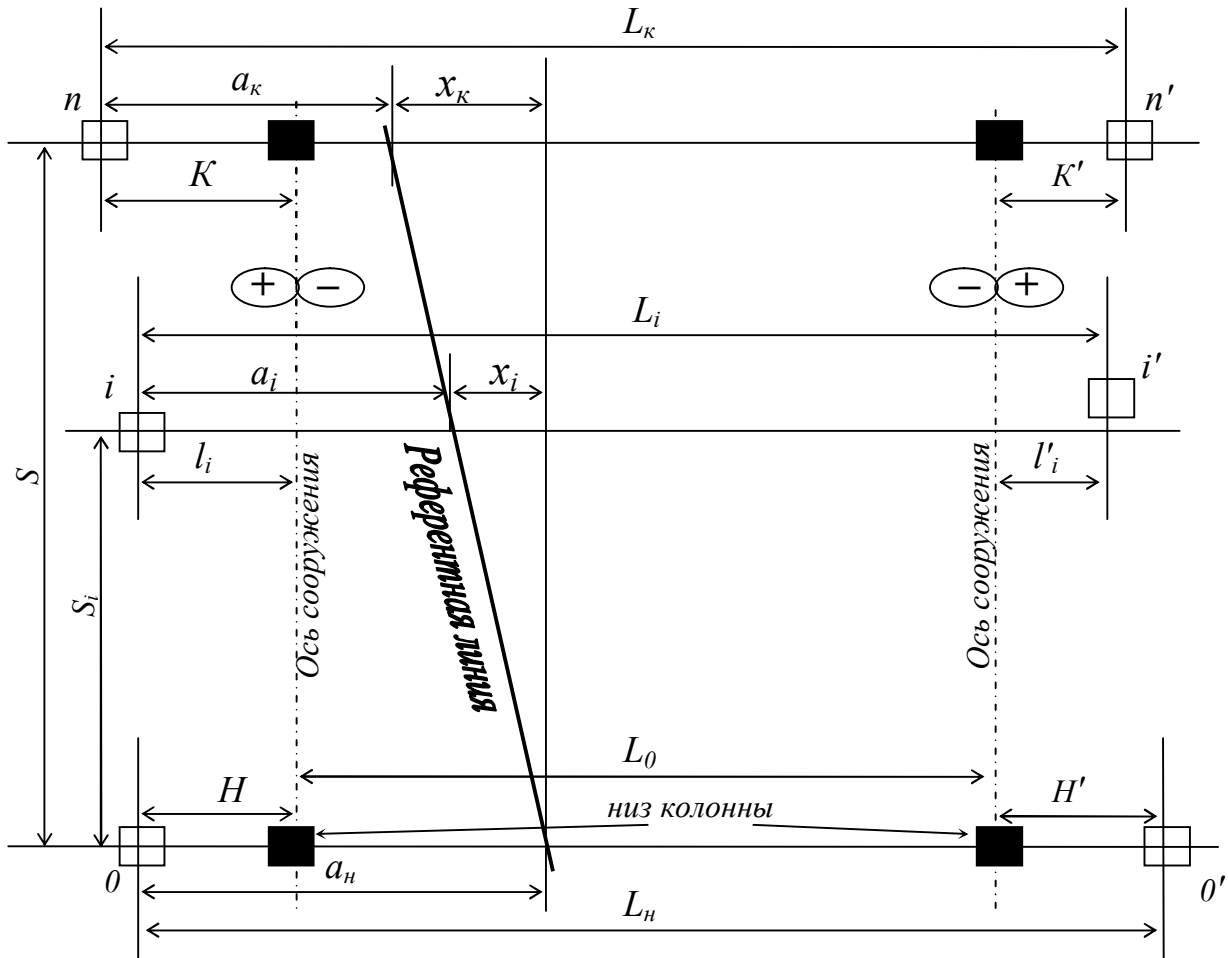


Рис. 84. Схема к определению отклонения верха колонн от оси сооружения

Так, (рис. 83), приведенный отсчет $a_i = O_i + L_B - L_H / 2$, а приведенное расстояние между колоннами $L_i = L_1 + L_2 + (L_B + \Pi_B) - (L_H + \Pi_H) / 2$.

Произвольное расположение референтной линии требует определения ее ориентирования относительно оси сооружения. Для этого одним из доступных способов измеряют отклонения от вертикали осей начальной и конечной колонн ряда, а именно величины H и K в направлении, перпендикулярном оси сооружения (рис. 84). При этом для колонн левого ряда отклонение верха начальной H , конечной K и i -той колонны l_i влево от оси сооружения принимается со знаком «плюс», вправо – со знаком «минус». И наоборот, для правого ряда колонн отклонение верха начальной H' , конечной K' и i' -той колонны l'_i

вправо от оси сооружения принимается со знаком «плюс», влево – со знаком «минус». Колонны нумеруются, начиная с нуля, то есть $0, 1, 2 \dots i \dots n$.

Согласно рис. 84, для левого ряда колонн справедливы равенства:

$$a_i + x_i - l_i = a_n - H, \quad x_k = (a_n - H) - (a_k - K), \quad x_i = x_k S_i / S. \quad (83)$$

Решая равенства (83) относительно l_i , получим следующее выражение:

$$l_i = a_i - (a_n - H)(1 - S_i / S) - (a_k - K) S_i / S. \quad (84)$$

В выражении вместо отношения расстояний S_i / S можно использовать отношение номеров колонн i/n , а значения H и K вводить в формулу (84) с соответствующим знаком «плюс» или «минус». По этой формуле можно получить положительное или отрицательное значение отклонения верха i -той колонны. Положительное значение l_i соответствует отклонению верха колонны влево, отрицательное – вправо.

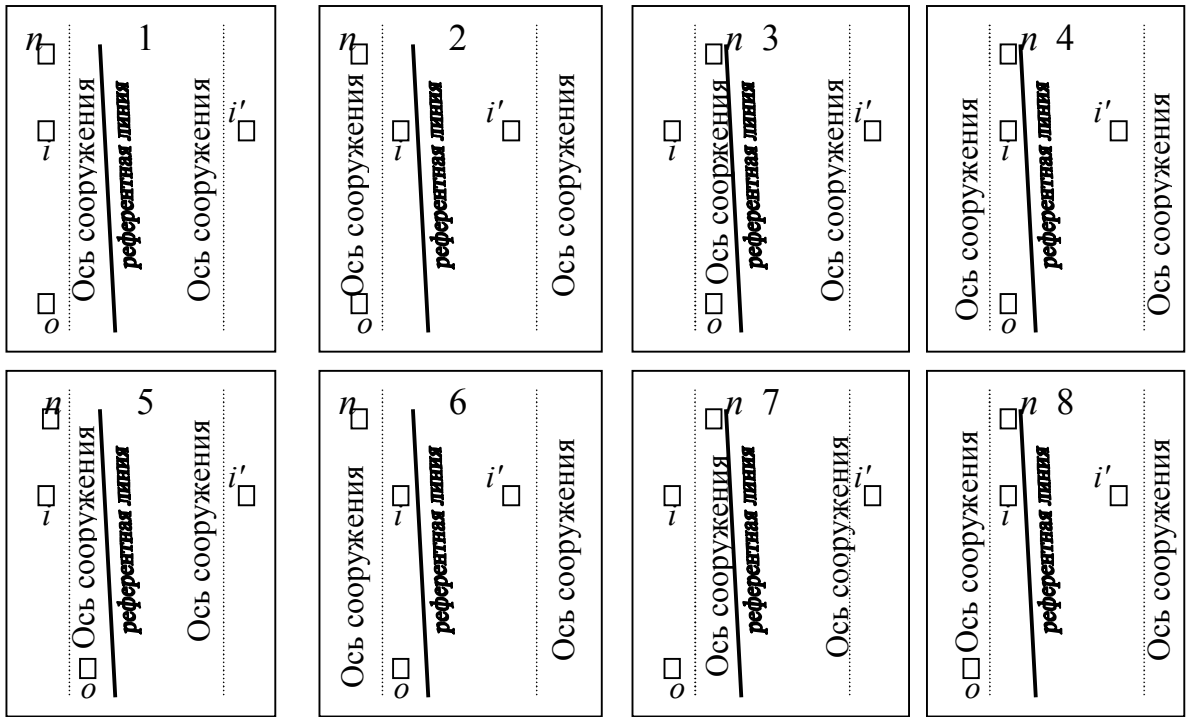


Рис. 85. Различные случаи расположения верха колонн относительно оси сооружения

Зная расстояние L_0 между осями сооружения (рис. 84), можно определить отклонение l'_i верха i' -той колонны правого ряда по формуле (85), подставляя в нее значение l_i со своим знаком:

$$l'_i = L_i - L_0 - l_i. \quad (85)$$

Рассмотрим различные случаи расположения верха колонн относительно осей сооружения (рис. 85) для следующего примера: $S = 78$ м, шаг колонн 6 м, $S_i = 48$ м, $n = 13$, $i = 8$, $S_i/S = i/n = 0,615$, $L_0 = 16$ м.

Описанная методика, по сравнению с обычными способами, отвечает требованиям безопасности и позволяет совместить две операции: определение соосности двух рядов колонн и расстояния между колоннами в пролете на уровне их оголовка.

В табл. 4 показаны примеры обработки результатов измерений для восьми различных случаев, приведенных на рис. 85. Все величины выражены в миллиметрах.

Т а б л и ц а 4

Пример вычисления отклонения верха колонн
от оси сооружения и ширины колеи кранового пути

№№	a_i	a_n	H	K	a_k	l_i	L_i	l'_i
1	36	53	+10	+15	30	+10	16020	+10
2	11	53	+10	+15	30	-15	15970	-15
3	36	28	-15	-10	5	+10	16020	+10
4	11	28	-15	-10	5	-15	15970	-15
5	36	28	-15	+15	30	+10	16020	+10
6	11	28	-15	+15	30	-15	15970	-15
7	36	53	+10	-10	5	+10	16020	+10
8	11	53	+10	-10	5	-15	15970	-15

Глава 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Она включает, в основном, следующие измерения: определение планового положения подкрановых рельсов; определение ширины колеи подкранового пути; нивелирование подкрановых рельсов; измерение смещения рельса с оси подкрановой балки и расстояния от грани колонны до оси рельса и др.

1. Определение планового положения подкрановых рельсов

Оно заключается в определении непрямолинейности рельсов и их взаимного расположения способом непосредственных или косвенных измерений. Определение непрямолинейности может осуществляться различными способами створных измерений, описанных в нашей работе [33]: способом струнного створа; с использованием базисных линий; способом оптического створа; с помощью подвижной марки; путем измерения малых углов; с помощью лучевых створов; способом фотограмметрических створов и др.

На практике в большинстве своём створные измерения и контроль ширины колеи являются взаимосвязанными операциями. Так, например, достаточно

определить непрямолинейность одного из рельсов, а непрямолинейность другого вычислить, используя результаты измерений ширины колеи подкранового пути. Или, в так называемом «способе четырехугольника», определяют непрямолинейность обоих рельсов, а ширину колеи получают расчетным путем.

В свою очередь использование горизонтально расположенных оптических или лучевых створов предусматривает совмещение створных измерений с контролем положения рельсов в вертикальной плоскости.

Наконец, косвенные измерения непрямолинейности путей, основанные на определении плановых координат осевых точек рельсов, позволяют получать данные для контроля ширины колеи. Наличие пространственных координат осевых точек рельсов дает возможность осуществлять комплексный контроль положения подкрановых рельсов как в плане, так и по высоте.

• **Непосредственный способ** предусматривает задание оптического, струнного или лучевого створа C_1C_2 вблизи одного из рельсов и определении его непрямолинейности. Непрямолинейность другого рельса определяют **косвенным способом** – путем соответствующих вычислений по значениям измерений ширины колеи подкранового пути (рис. 86).

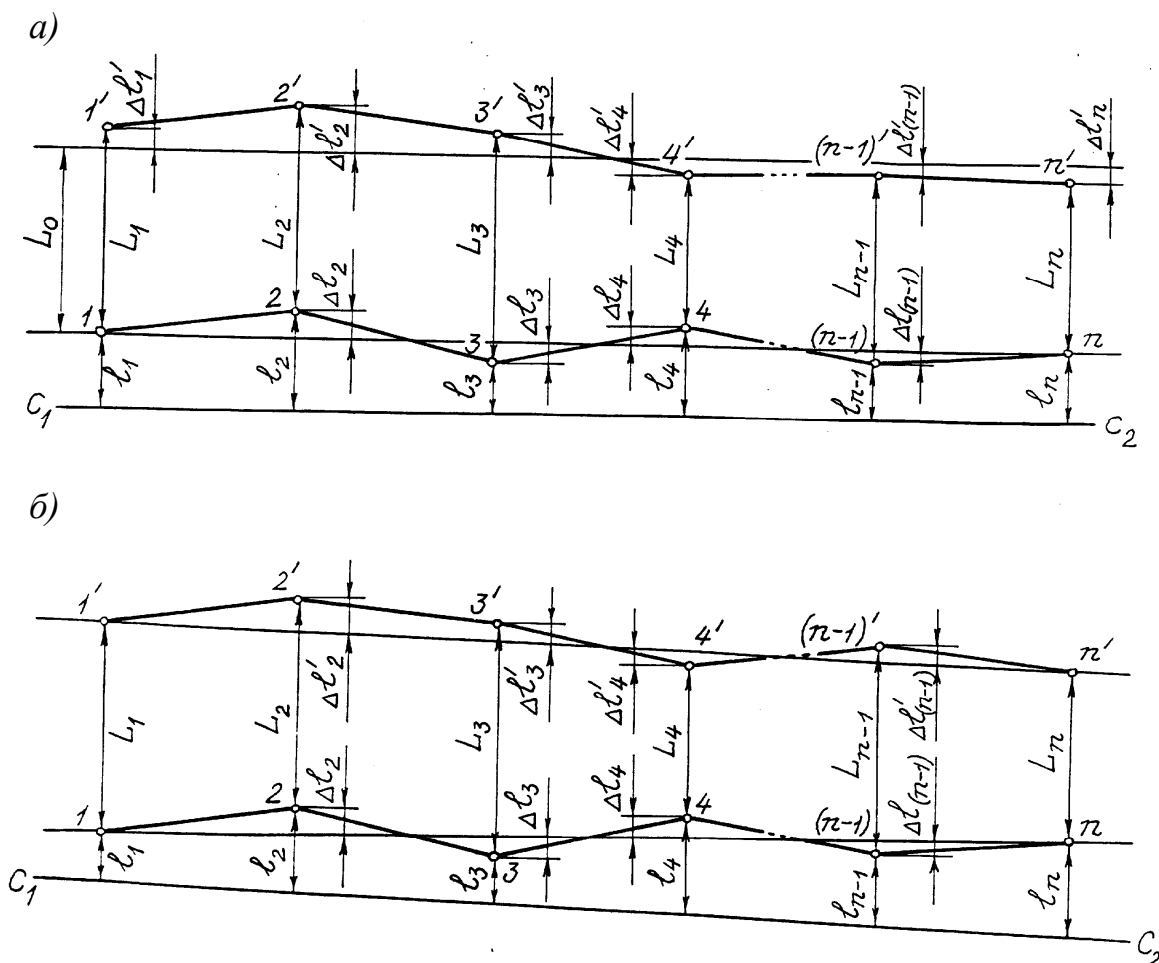


Рис. 86. Схемы к определению планового положения подкрановых рельсов

Для удобства последующих вычислений створ C_1C_2 рекомендуется располагать на одинаковых расстояниях $l_1 = l_n$ от начальной точки l и конечной точки n подкранового пути. Измерив против каждой колонны расстояния l_1, l_2, \dots, l_n от створа до оси рельса, а также ширину колеи L_1, L_2, \dots, L_n , вычисляют отклонения Δl_i оси правого рельса от прямой линии как разности: $\Delta l_i = l_i - l_n$, причем, при такой схеме измерений (рис. 86, а) знак плюс этих разностей означает отклонение оси рельса от прямой линии влево, знак минус – отклонение вправо, а $\Delta l_1 = \Delta l_n = 0$.

Если провести параллельно линии $l-n$ вторую линию на расстоянии L_0 , равном номинальному значению ширины колеи, то эта линия будет соответствовать проектному положению левого рельса по отношению к проектному положению $l-n$ правого рельса. В этом случае отклонения $\Delta l'_i$ оси левого рельса от прямой линии будет равно: $\Delta l'_i = \Delta l_i + L_i - L_0$, с учетом знака Δl_i .

Такой подход позволяет решать одновременно две задачи: во-первых – осуществлять контроль прямолинейности подкрановых рельсов и их взаимной параллельности; во-вторых – получать один из вариантов рихтовки подкранового пути в горизонтальной плоскости.

Отклонения левого рельса от линии $l'-n'$, соединяющей его начальную и конечную точки, можно определить по формуле

$$\Delta l'_i = \Delta l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} L_1 - \frac{i-1}{n-1} L_n, \quad (86)$$

с учетом знака Δl_i , где i – номер точки (оси), в которой произведены измерения, n – число точек.

При произвольно ориентированном створе C_1C_2 (рис. 86, б), отклонения Δl_i оси правого рельса от прямой $l-n$ вычисляют по формуле

$$\Delta l_i = l_i - \frac{n-i}{n-1} l_1 - \frac{i-1}{n-1} l_n, \quad (87)$$

а отклонения $\Delta l'_i$ оси левого рельса от прямой $l'-n'$ – по формуле

$$\Delta l'_i = l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} (l_1 + L_1) - \frac{i-1}{n-1} (l_n + L_n). \quad (88)$$

Створ C_1C_2 наиболее просто можно задать с помощью визирной оси зрительной трубы теодолита с увеличением не менее 25^{\times} , а отклонения l_1, l_2, \dots, l_n определить методом бокового нивелирования, используя разработанное на кафедре инженерной геодезии ННГАСУ специальное приспособление [33] (рис. 87).

Теодолит устанавливают в начале рельсового пути и с помощью нитяного или оптического отвеса берут по рейке приспособления отсчет l_1 (рис. 87, а). Переносят приспособление в конец рельсового пути и ориентируют визирную

ось зрительной трубы теодолита по линии C_1C_2 , наведя вертикальную нить сетки на отсчет по рейке $l_n = l_1$.

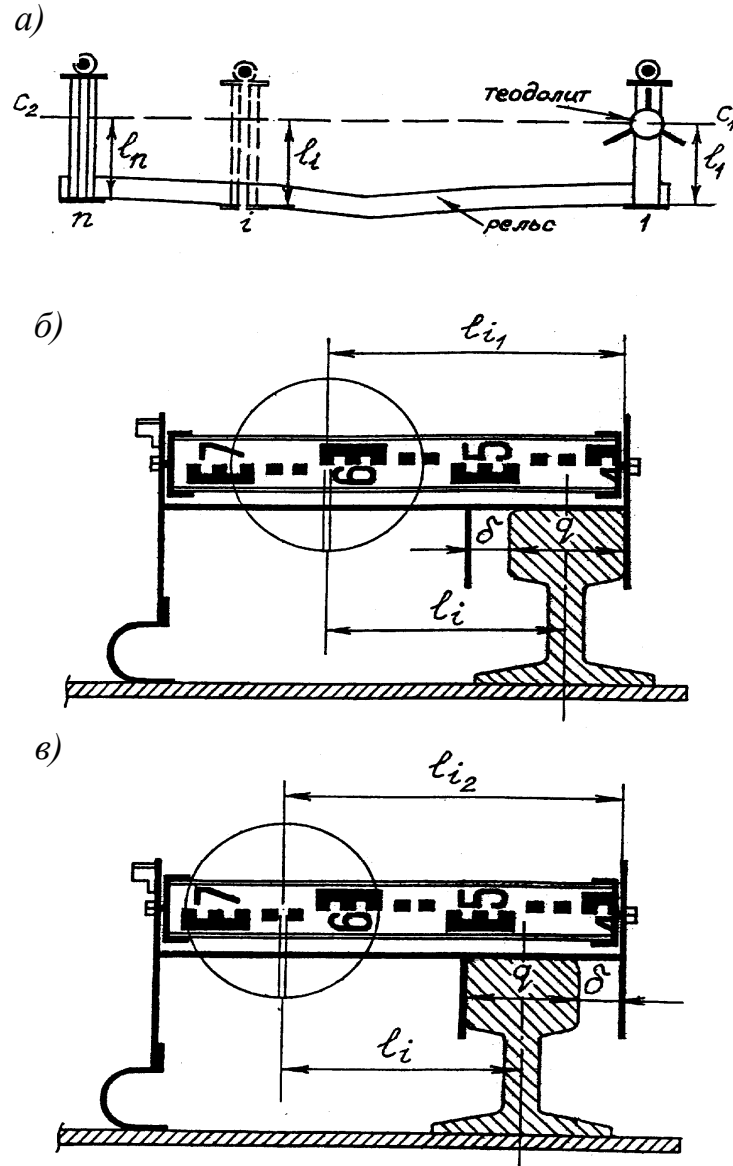


Рис. 86. Схема бокового нивелирования (а) с приведением результатов к оси рельса (б) и (в)

Последовательно устанавливая приспособление в заданных точках съемки, берут (с точностью 1 мм) отсчеты $l_{i,1}$ и $l_{i,2}$, приводя в соприкосновение с боковой гранью головки рельса вначале один упор (рис. 87, б), а затем другой (рис. 87, в). Среднее арифметическое из этих отсчетов даст приведенное к оси рельса расстояние l_i до створа C_1C_2 , а их разность равна δ , по величине которой (зная расстояние между упорами) можно определить ширину головки рельса q и судить о её износе.

При съемке подкрановых путей большой протяженности следует применять способ последовательных створов с перекрытием не менее двух точек предыдущего и последующего створов.

• **Способ фотограмметрических створов**, описанный в работе (Лященко Ю.К. *Исследование точности последовательных фотограмметрических створов // Инженерная геодезия. – 1984, – №27. – С.65-68*) заключается в том, что общий створ $1-n$ (рис. 86, а) длиной до 500 м разбивается на примерно равные части. Фотографирование производится с моста крана так, чтобы последняя измеряемая точка на снимке предыдущего частного створа являлась начальной точкой для последующего створа. При этом оптическая ось фотокамеры при съемке всякий раз ориентируется на последнюю точку n общего створа. Метод не требует предварительной маркировки оси рельса и дает наилучшие результаты при длине частного створа около 40 м.

2. Определение ширины колеи подкранового пути

Расстояние между подкрановыми рельсами мостовых кранов (ширину колеи) можно определять непосредственным или косвенным способами. Способы непосредственного измерения ширины колеи подразделяются на контактные и механические. Контактный способ заключается в измерении расстояния между осями рельсов с помощью обычной рулетки или проволоки. Механический способ основан на использовании различных приспособлений и устройств. Сущность косвенного способа заключается в том, что из различных линейно-угловых геодезических построений определяют плановые координаты осевых точек рельсов, по которым вычисляют ширину колеи. Заметим, что эти координаты служат также для определения непрямолинейности рельсовых осей. Если в процессе съемки получают пространственные координаты осевых точек, то можно осуществить комплексный контроль подкрановых путей в плане и по высоте. В работе [33] детально описаны различные непосредственные и косвенные способы измерения ширины колеи мостовых кранов. Здесь и далее остановимся на способах, основанных на использовании лазерной рулетки, лазерно-зеркального устройства и электронного тахеометра.

• **Измерения лазерной рулеткой** расстояний L между осями рельсов мостовых кранов может осуществляться по трем схемам [38]. В первой схеме (рис. 88, а) рулетка прикладывается к внутренней грани правого рельса и измеряется расстояние до экрана–отражателя, приложенного к внешней грани левого рельса. Однако здесь на точность измерений может оказывать влияние односторонний износ боковых граней подкрановых рельсов. Избежать этого влияния можно (рис. 88, б), измеряя расстояние между упором для рулетки и экраном, установленных на оси рельсов с помощью специальных центрирующих устройств, например, вилки.

Другой способ измерения расстояний L непосредственно между осями подкрановых рельсов предусматривает использование упора и экрана, закреп-

ленных на основаниях с двумя вертикальными щеками (рис. 88, в, з). Расстояние между щеками основания упора и основания экрана одинаковы и превышают ширину головки рельса q на величину δ . Вначале измеряют расстояние L_1 , когда щеки оснований упора и экрана прилегают соответственно к внутренней грани правого рельса и к внешней грани левого рельса (рис. 88, в). Затем измеряют расстояние L_2 , когда щеки прилегают соответственно к внешней грани правого рельса и к внутренней грани левого рельса (рис. 88, з).

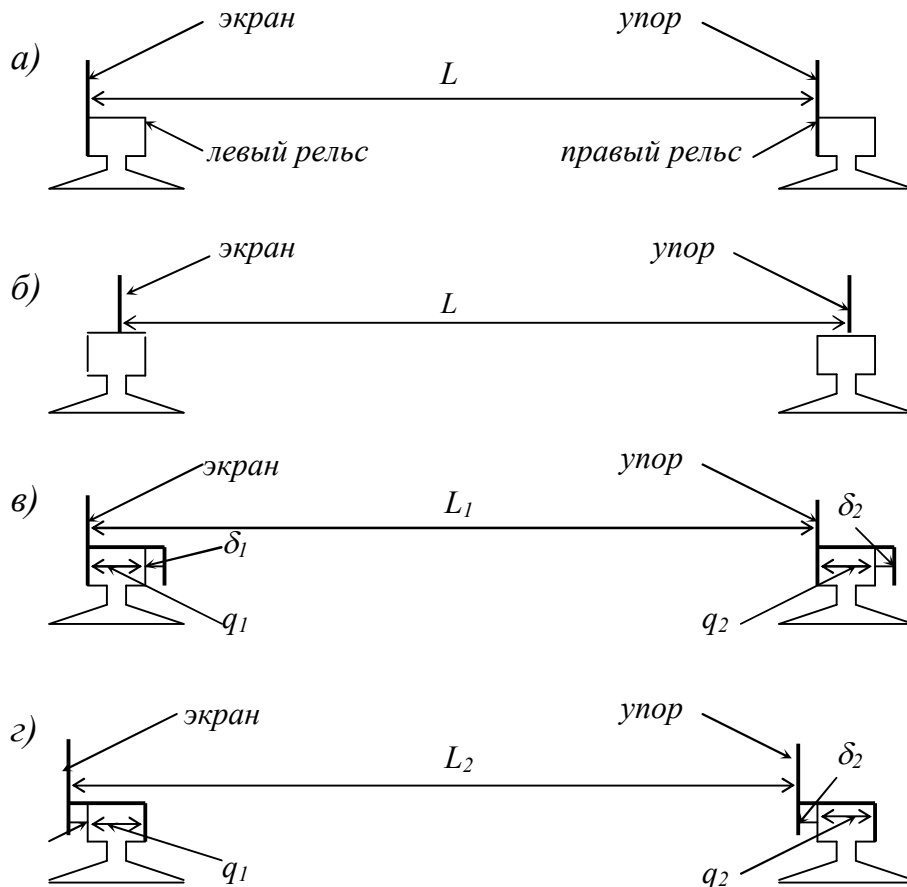


Рис. 88. Схемы измерения расстояний между осями подкрановых рельсов лазерной рулеткой

Тогда в первом случае $L = L_1 - q_1/2 + q_2/2$, а во втором случае $L = L_2 - \delta_1 - q_1/2 + \delta_2 + q_2/2$. Сложив почленно эти два равенства и учитывая, что $(\delta_1 + q_1) = (\delta_2 + q_2)$, получим $L = 1/2 (L_1 + L_2)$, следовательно, среднее арифметическое из двух результатов измерений даст результат, приведенный к оси рельсов. Закрепление упора и экрана на головках рельсов может осуществляться с помощью струбцин или магнитных фиксаторов.

Наконец, измерение расстояний между рельсами может осуществлять один человек, используя в качестве упора шейку одного рельса, а в качестве

экрана шейки противоположного рельса, вводя в результаты измерений необходимые поправки.

Основным недостатком непосредственных измерений ширины колеи кранового пути с помощью лазерной рулетки является необходимость выхода наблюдателя на подкрановый путь. Исключить этот недостаток можно, используя способ дистанционных измерений с тормозных площадок крана с помощью лазерно-зеркального устройства ЛЗУ (рис. 89).

• **Измерения с помощью ЛЗУ.** Для этого удлинительные штанги ЛЗУ и экрана-отражателя имеют на своих концах вилки, позволяющие устанавливать ЛЗУ и экран на осях подкрановых рельсов, контролируя вертикальность каждой штанги по круглому уровню.

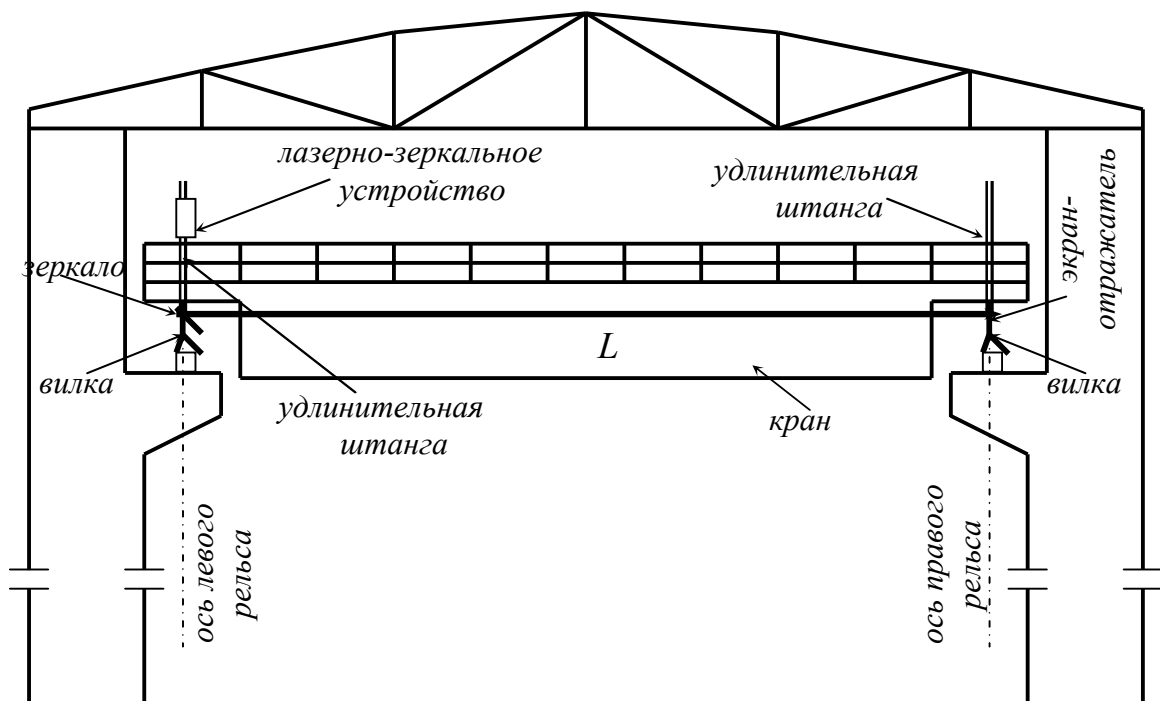


Рис. 89. Схема измерения расстояний между осями подкрановых рельсов лазерно-зеркальным устройством

Установив ЛЗУ на оси, например, левого рельса, а экран-отражатель на оси правого рельса, включают лазерную рулетку, направляют лазерный пучок на экран и, вычитая из её показаний постоянное слагаемое ЛЗУ, получают ширину колеи L . Аналогичным образом можно измерить ширину колеи в любом месте без выхода персонала на подкрановый путь.

Если расположить ЛЗУ примерно в середине моста крана и измерить два расстояния до экранов-отражателей, установленных на осях левого и правого рельсов, то сумма этих расстояний будет равна ширине колеи. Такая методика в сочетании со створными измерениями позволяет решать сразу несколько задач (см. ниже).

• **Измерения с помощью электронного тахеометра** предусматривают определение прямоугольных координат осевых точек рельсов в условной системе, где одна из осей координат параллельна оси кранового пути. В зависимости от условий съёмки, тахеометр может располагаться на полу цеха или на уровне подкрановых рельсов, например, на мосту нерабочего крана.

Наиболее приемлемым способом измерений является так называемый базисный способ, сущность которого состоит в следующем (рис. 90). На полу цеха выбирают две точки A и B с таким расчетом, чтобы они располагались в начале и конце кранового пути и линия AB была параллельна рельсовому пути.

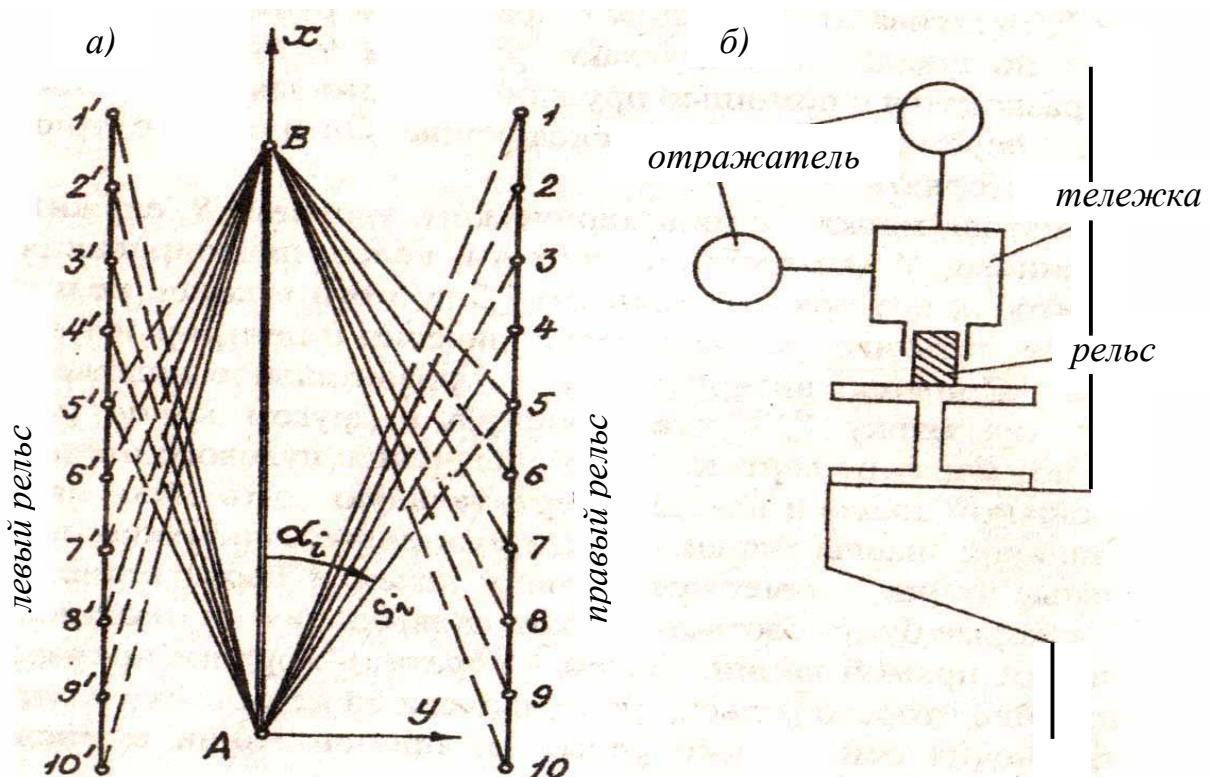


Рис. 90. Схема измерений с помощью электронного тахеометра (а) и измерительной тележки (б)

В условной системе координат полярная ось AB принимается за ось X , перпендикулярная ей линия – за ось Y . Измерительная тележка имеет отражатель, который может располагаться горизонтально или вертикально и предназначенный для определения планового и высотного положения тележки.

Методом полярной пространственной засечки определяют с точки A прямоугольные координаты x, y, z отражателя тележки, которая последовательно помещается в точки $1...5$ и $1'...5'$ подкрановых рельсов. Съёмка другой части точек производится с точки B , причем для контроля вновь определяют

координаты средних точек 5 и $5'$. Фактическую ширину колеи L_i вычисляют по формуле

$$L_i = y_i - y_{i'} , \quad (i, i' = 1 \dots n) , \quad (89)$$

и определяют её отклонения от проектного значения L_0 как разности $L_i - L_0$.

В работе [54] приведены формулы оценки точности получаемых результатов. Так, ошибку определения ширины колеи описанным методом можно вычислить по формуле

$$m_L = \frac{S}{L} \sqrt{2m_s^2(1 - 2\cos\alpha + \cos^2\alpha) + S^2 m_\alpha^2 \sin^2\alpha} , \quad (90)$$

где S – горизонтальное проложение наименьшего измеряемого расстояния; m_s – средняя квадратическая ошибка измерения расстояний; m_α – средняя квадратическая ошибка измерения полярного угла α .

Применение описанного однобазисного способа зависит от длины рельсового пути, ширины его колеи и относительной высоты подкрановых рельсов. Так, например [54], при величине зенитного угла 81° (90 гон, гон – это 1:100 часть градуса, то же, что и радиан) точность определения ширины колеи и относительных высот головок рельсов $m_L = m_H = 2,5$ мм может быть достигнута: при ширине колеи 10 м – если длина пути не менее 25 м, а относительная высота рельсов не более 1,5 м; при ширине колеи 20 м – соответственно 60 м и 4,7 м; при ширине колеи 30 м – 80 м и 6,3 м; при ширине колеи 40 м – 100 м и 7,9 м. По мнению автора цитируемой работы наилучший результат достигается при величине зенитного угла 90 – 110 гон.

Поскольку линия AB выбирается параллельно подкрановым рельсам, то их отклонение Δl от прямой вычисляют следующим образом:

$$\Delta l_i^n = y_i - \frac{\sum y_i}{n} , \quad \Delta l_{i'}^n = \Delta L_i + \Delta l_i^n , \quad (91)$$

соответственно для правого и левого рельсов, причем положительные значения Δl говорят о том, что рельсы отклонены вправо, отрицательные – влево.

Точность определения относительных высот H точек $1 \dots 10$ и $1' \dots 10'$ можно определить по формуле

$$m_H = \sqrt{ctg^2 \delta' m_s^2 + \frac{S^2}{\sin^4 \delta'} m_\delta^2} , \quad (92)$$

где δ' – зенитный угол, ошибка измерения которого равна m_δ .

В том случае, когда линия AB не параллельна подкрановым рельсам (рис. 91), обработку результатов измерений можно производить следующим образом.

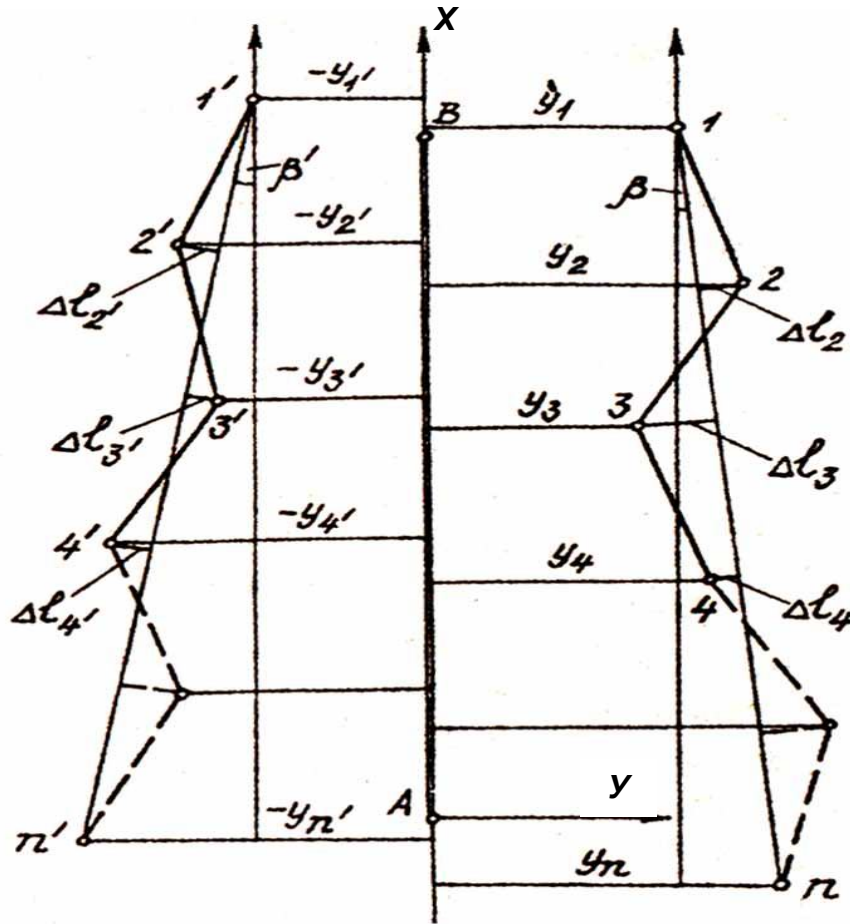


Рис. 91. Схема определения отклонений от референтных линий

Вначале вычисляют углы β и β' непараллельности базиса AB и линий, соединяющих начальные 1 и $1'$ и конечные n и n' точки правого и левого рельсов:

$$\beta = \arctg \frac{\Delta y_{1,n}}{\Delta x_{1,n}}, \quad \beta' = \arctg \frac{\Delta y_{1',n'}}{\Delta x_{1',n'}}, \quad (93)$$

где $\Delta x_{1,n} = x_1 - x_n$, $\Delta x_{1',n'} = x_{1'} - x_{n'}$, $\Delta y_{1,n} = y_1 - y_n$, $\Delta y_{1',n'} = y_{1'} - y_{n'}$.

В формулах (93) Δx всегда величина положительная, в то время как Δy может быть как положительным, так и отрицательным. Следовательно углы β и β' могут иметь знак «плюс», что говорит об отклонении точки $n(n')$ влево от линии параллельной AB , и знак «минус», соответствующий отклонению точки $n(n')$ вправо от этой линии.

Нестворность Δl_i и $\Delta l_{i'}$ ($i, i' = 2, 3, \dots, n-1$) правого и левого рельсов относительно референтных линий $1-n$ и $1'-n'$ находят из выражений:

$$\Delta l_i = \Delta y_{l,i} \cos \beta - \Delta x_{l,i} \sin \beta, \quad \Delta l_{i'} = \Delta y_{l',i'} \cos \beta' - \Delta x_{l',i'} \sin \beta', \quad (94)$$

где $\Delta x_{l,i} = x_l - x_i$, $\Delta x_{l',i'} = x_{l'} - x_{i'}$, $\Delta y_{l,i} = y_l - y_i$, $\Delta y_{l',i'} = y_{l'} - y_{i'}$.

В формулах (94) необходимо учитывать знаки: Δx (всегда положительный), Δy и β . При этом знак «плюс» у Δl означает отклонение рельса влево от референтной линии, знак «минус» – отклонение вправо.

По прямоугольным координатам противоположащих точек i и i' вычисляют фактическую ширину колеи:

$$L_i = \sqrt{\Delta x_{i,i'}^2 + \Delta y_{i,i'}^2}, \quad (95)$$

где $\Delta x_{i,i'} = x_i - x_{i'}$, $\Delta y_{i,i'} = y_i - y_{i'}$.

По вычисленным отклонениям Δl_i и ширине колеи L_i строят график планового положения подкрановых рельсов.

Из других однобазисных способов следует сказать об определении траектории движения крана и отклонении подкранового пути [61]. Для этого двумя электронными тахеометрами, установленными вблизи рельсов, определяют координаты их осевых точек и одновременно координаты двух точек крана над осями рельсов.

Вообще говоря, методика использования электронного тахеометра предусматривает в конечном итоге определение координат x , y , z осевых точек подкрановых рельсов методом полярной пространственной засечки. Зная условный дирекционный угол α , угол наклона δ и наклонное расстояние S на каждую съёмочную точку, можно определить коэффициенты a , b , c исходных уравнений ошибок [32] для любой съёмочной точки:

$$a_\alpha = \frac{g \sin \alpha}{\cos \delta}, \quad b_\alpha = \frac{g \cos \alpha}{\cos \delta}, \quad c_\alpha = 0,$$

$$a_\delta = g \cos \alpha \sin \delta, \quad b_\delta = g \sin \alpha \sin \delta, \quad c_\delta = -g \cos \delta, \quad (96)$$

$$a_s = \cos \alpha \cos \delta, \quad b_s = \sin \alpha \cos \delta, \quad c_s = \sin \delta,$$

причем в этих формулах градиент $g = \rho : S$, а S – наклонная длина.

Затем следует составить матрицу A коэффициентов исходных уравнений ошибок:

$$A = \begin{pmatrix} a_\alpha & b_\alpha & c_\alpha \\ a_\delta & b_\delta & c_\delta \\ a_s & b_s & c_s \end{pmatrix}, \quad (97)$$

и найти матрицу N коэффициентов системы нормальных уравнений:

$$N = A^T A = \begin{pmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ab] & [bb] & [bc] \\ [ac] & [bc] & [cc] \end{pmatrix}. \quad (98)$$

Для этого вначале найдем матрицы N_{y2} и $N_{лин}$, относящиеся соответственно только к угловым и только к линейным измерениям.

Матрицу N можно получить следующим образом:

$$\begin{aligned} N &= N_{лин} + p_{\alpha,\delta} N_{y2}, \quad (\text{при } p_s = 1), \\ N &= p_s N_{лин} + N_{y2}, \quad (\text{при } p_{\alpha,\delta} = 1), \\ N &= p_s N_{лин} + p_{\alpha,\delta} N_{y2}, \quad (\text{при } p_s \neq p_{\alpha,\delta} \neq 1). \end{aligned} \quad (99)$$

Что касается выбора весов, то если принять вес линейных измерений $p_s = 1$, то вес угловых измерений $p_{\alpha,\delta} = \mu^2/m_{\alpha,\delta}^2$, где μ средняя квадратическая ошибка единицы веса; $m_{\alpha,\delta}$ – средняя квадратическая ошибка измерения α и δ . Если принять $p_{\alpha,\delta} = 1$, тогда $p_s = \mu^2/m_s^2$, где m_s – средняя квадратическая ошибка линейных измерений. При этом размерности μ и $m_{\alpha,\delta}$ должны в обязательном порядке соответствовать размерности градиентов g в формулах (95). Так, если эти градиенты имеют размерность c/cm , то и μ , $m_{\alpha,\delta}$ (при $p_{\alpha,\delta} = 1$) должны быть выражены в секундах, а m_s – в сантиметрах. При $p_s = 1$ размерности μ и m_s в сантиметрах, а $m_{\alpha,\delta}$ – в секундах.

Путем обращения матрицы N получают матрицу Q весовых коэффициентов, умножив компоненты которой на μ^2 , получают ковариационную матрицу K :

$$K = \mu^2 Q = \mu^2 N^{-1} = \mu^2 \begin{pmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{xy} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{xz} & Q_{yz} & Q_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}, \quad (100)$$

где σ_{xy} , σ_y , σ_z – средние квадратические ошибки съёмочной точки по осям координат.

Ковариационные матрицы K не только дают исчерпывающую информацию о погрешности положения съёмочных точек, но и позволяют определить погрешность взаимного расположения любых двух съёмочных точек [32].

• **Косвенные измерения способом четырехугольника**, схема которого приведена на рис. 92. Его сущность заключается в том, что по произвольным оптическим створам AA' и BB' определяют непрямолинейность обоих рельсов методом бокового нивелирования. В начале и конце контролируемого участка измеряют расстояния a и b или ширину колеи L_1 и L_n .

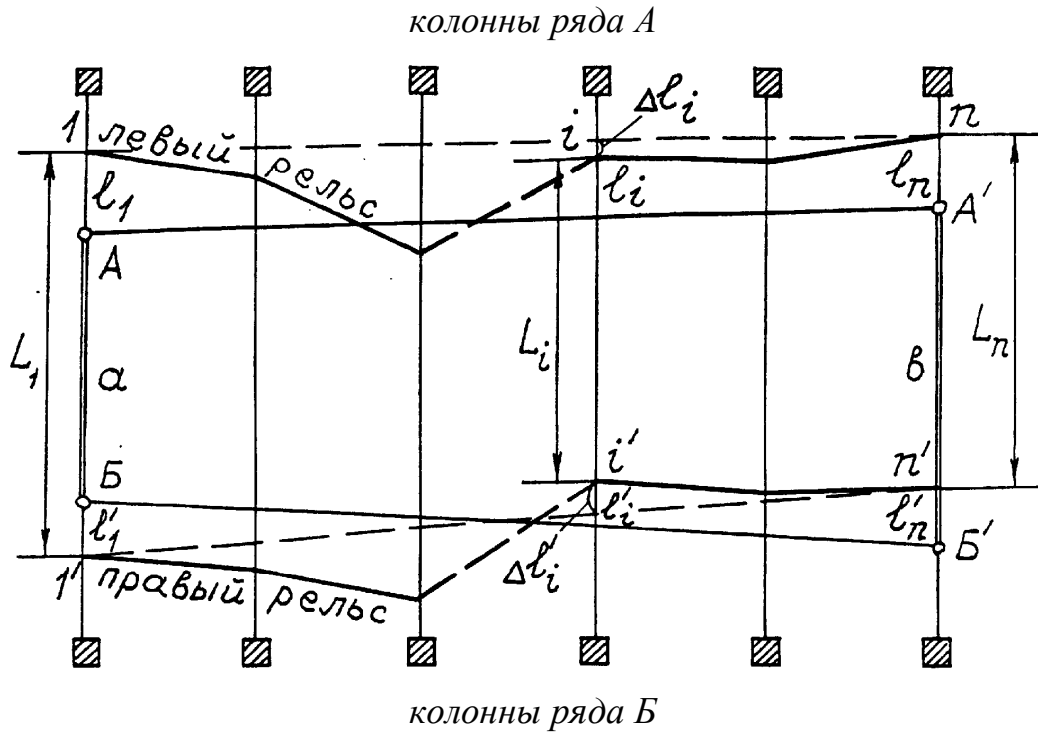


Рис. 92. Схема контроля планового положения подкрановых рельсов по «способу четырехугольника»

Если стороны AA' и BB' четырехугольника параллельны между собой, то есть $a = b$, то ширину колеи вычисляют по формуле

$$L_i = a + l_i + l'_i, \quad (101)$$

принимая l_i и l'_i со знаком минус, если они направлены внутрь четырехугольника, и со знаком плюс – при противоположном направлении.

Если створы AA' и BB' не параллельны между собой, то есть $a \neq b$, предыдущая формула примет следующий вид:

$$L_i = a + \frac{i-1}{n-1}(b-a) + l_i + l'_i. \quad (102)$$

Если при произвольно ориентированных створах AA' и BB' вместо a и b измерены L_1 и L_n , то ширину колеи вычисляют по формуле

$$L_i = L_1 + \frac{i-1}{n-1}(L_n - L_1) + \Delta l_i + \Delta l'_i, \quad (103)$$

где Δl_i и $\Delta l'_i$ находят по формуле (86) для правого рельса.

3. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана

Такие определения обычными способами [33] требует многократного за- действия мостового крана и выхода персонала на подкрановый путь.

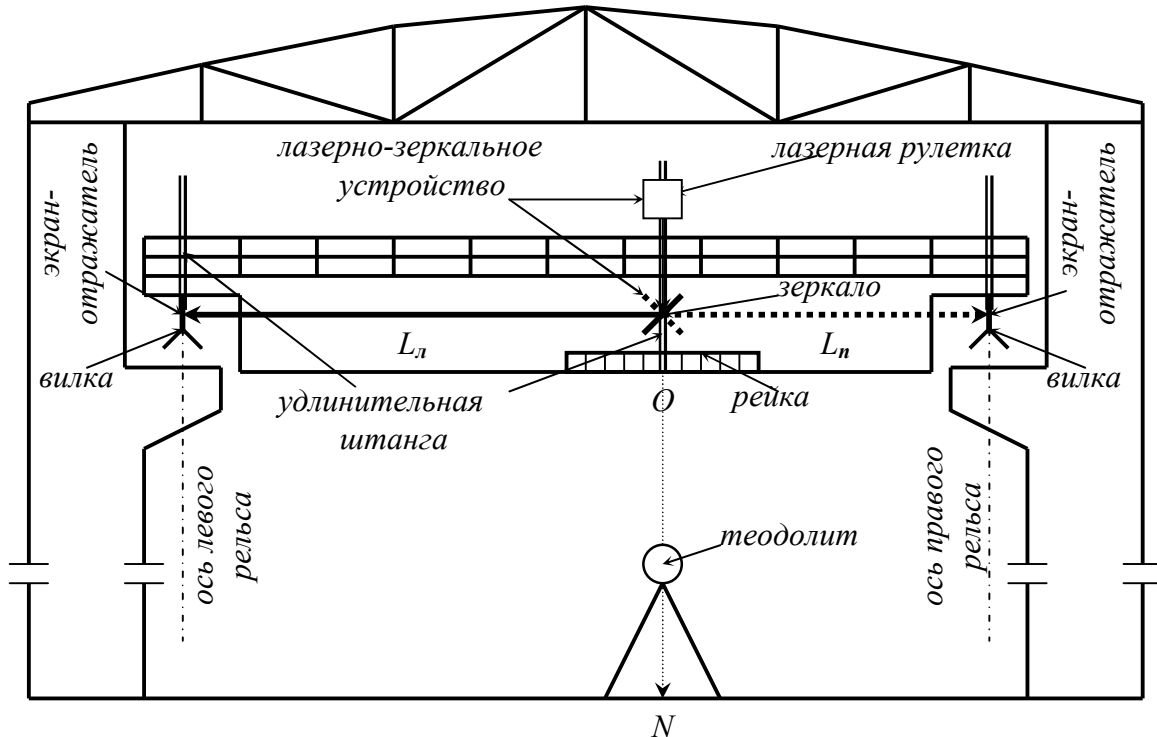


Рис. 93. Схема измерения расстояний лазерно-зеркальным устройством

В работе [40] предлагается способ, лишенный этих недостатков, который позволяет за один проход крана произвести выверку прямолинейности и параллельности обоих крановых рельсов, определить ширину рельсовой колеи и траекторию движения самого крана. Сравнение траектории движения крана с конфигурацией кранового пути позволит специалистам выявлять места возможных в дальнейшем сверхнормативных смещений рельсов в плане, влияющих на износ ходовых колес и выбирать наиболее оптимальный проект рихтовки пути.

Способ основан на применении лазерно-зеркального устройства в сочетании со створными измерениями с помощью теодолита. В этом способе ЛЗУ предназначено для производства линейных измерений дистанционно на уровне подкрановых рельсов.

Процесс измерений заключается в следующем (рис. 93). На мосту крана примерно на уровне подкрановых рельсов закрепляют горизонтально рейку с делениями. Перемещают кран в один конец цеха так, чтобы рейка расположилась между колоннами и находят на полу цеха проекцию нулевого отсчета по рейке O .

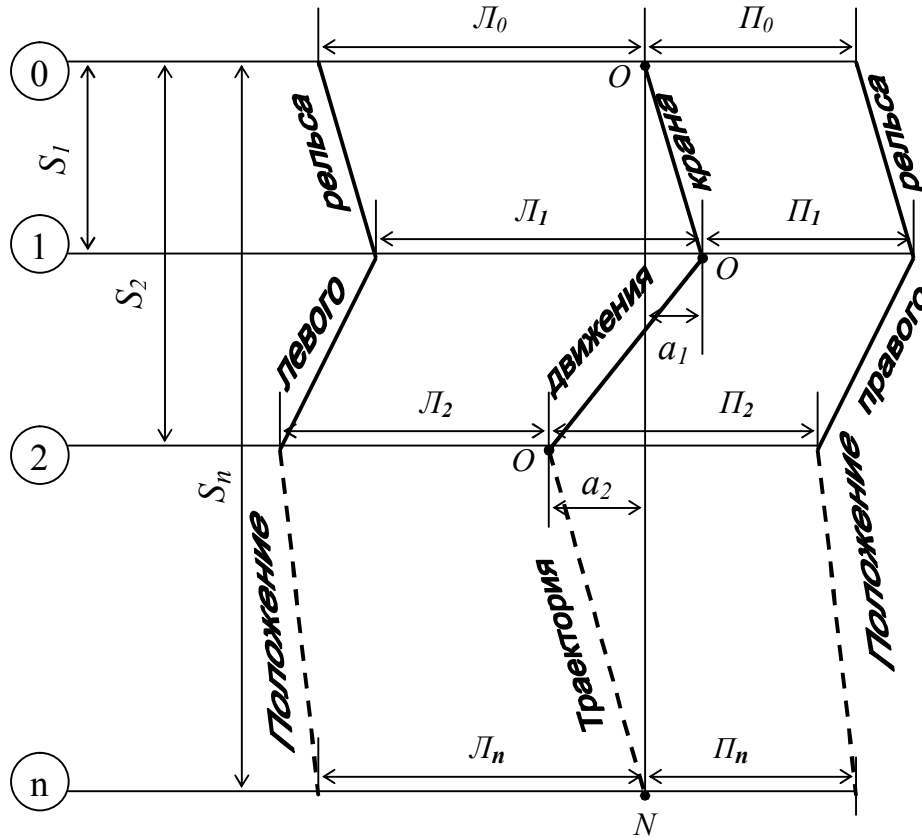


Рис. 94. Схема к определению геометрии кранового пути и траектории движения крана

С крана измеряют с помощью ЛЗУ расстояние L_n от нулевого отсчета до экрана-отражателя, установленного на оси левого рельса. Затем, повернув зеркало (показано пунктиром), измеряют расстояние P_n от нулевого отсчета до экрана-отражателя, установленного на оси правого рельса. Располагать экран-отражатель на оси рельса можно с помощью удлинительной штанги, на нижнем конце которой имеется V-образная вилка, а ее вертикальность контролировать по круглому уровню.

Затем, перемещая кран, располагают рейку последовательно на осях 1, 2, 3, ..., n-1 и берут отсчеты a_1, a_2, \dots, a_{n-1} , измеряя одновременно расстояния L_1 и P_1, L_2 и P_2, \dots, L_{n-1} и P_{n-1} до экранов-отражателей, устанавливаемых на оси левого и правого рельсов.

Отсчеты a_i дают возможность определить траекторию движения крана относительно так называемой референтной линии ON . Ширина колеи равна сумме расстояний $(L_i + P_i)$ до левого и правого экранов-отражателей. Расстояния от референтной линии ON до осей левого и правого рельсов характеризуют их отклонения от прямолинейности. Так, для левого рельса эти расстояния равны $L_0, (L_1 - a_1), (L_2 + a_2), \dots, L_n$. Для правого рельса они равны $P_0, (P_1 + a_1), (P_2 - a_2), \dots, P_n$.

Вообще говоря, можно в предлагаемом способе исключить операцию определения на полу цеха проекции N нулевого отсчета O по рейке. Теодолит устанавливают в произвольной точке T (рис. 95), например, на мосту нерабочего крана, а рабочий кран перемещают в противоположный конец цеха.

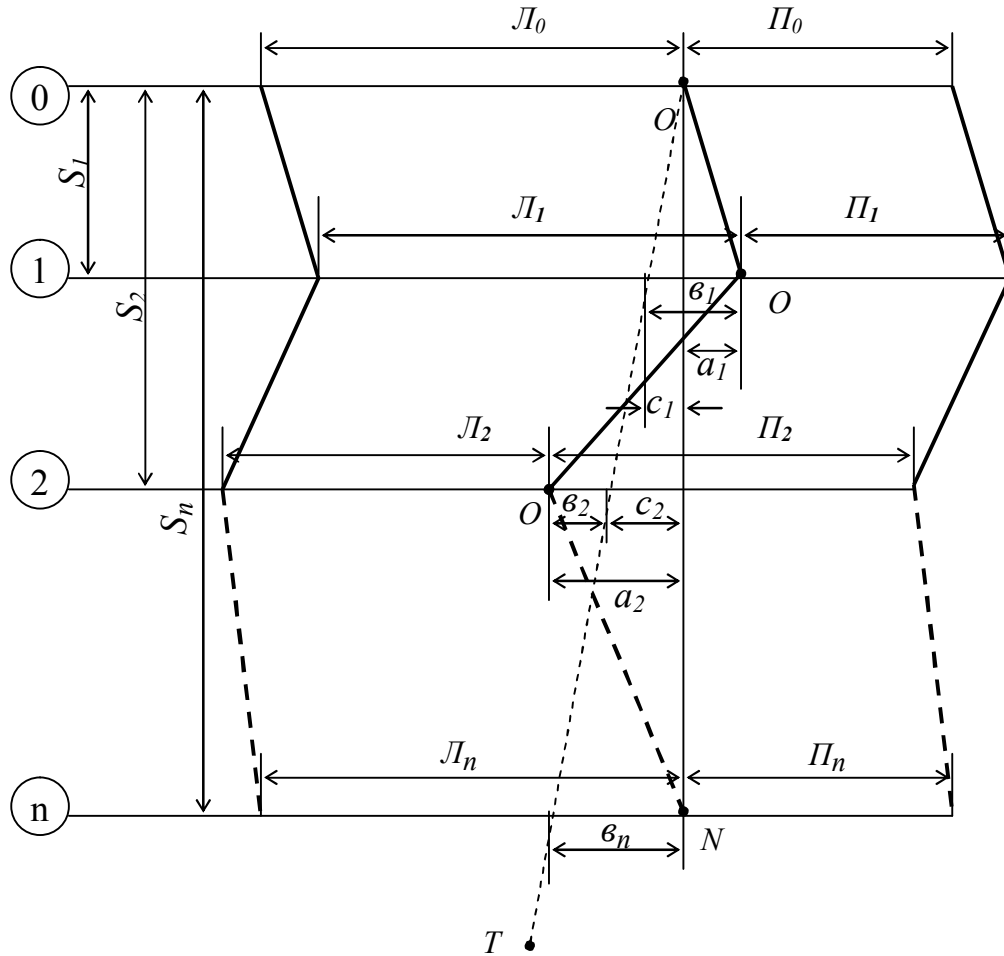


Рис. 95. Схема к определению геометрии кранового пути и траектории движения крана при произвольном расположении референтной линии

Вертикальную нить сетки зрительной трубы теодолита наводят на нулевой отсчет по рейке O и фиксируют положение зрительной трубы в горизонтальной плоскости. Выполняют описанные выше измерения L_i и P_i , беря одновременно отсчеты $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$ по рейке.

Произвольное расположение референтной линии TO требует определения её ориентирования относительно оси сооружения ON для того, чтобы от отсчетов по рейке ϑ_i перейти к отсчетам a_i . Для этого необходимо в отсчеты ϑ_i ввести поправки c_i . Величины поправок можно вычислить по формуле:

$$c_i = \vartheta_n S_i / S_n, \quad (104)$$

где S_i – расстояние между начальной и i -ой колонной.

В этом выражении вместо отношения расстояний S_i/S_n можно использовать отношение номеров колонн i/n при одинаковом расстоянии между ними. При этом колонны нумеруются, начиная с нуля, то есть $0, 1, 2, \dots, n$.

Вычисленные отсчеты $a_1 = v_1 - c_1$, $a_2 = v_2 + c_2, \dots$ и измеренные расстояния L_i и P_i дают возможность по изложенной выше методике определить траекторию движения крана относительно референтной линии ON , найти ширину колеи и отклонения от прямолинейности осей левого и правого рельсов.

Следует сказать, что линейные измерения с помощью ЛЗУ могут выполняться по-другому. Вместо L_i и P_i можно измерять расстояния L_i от оси одного из рельсов до экрана-отражателя, неподвижно закрепленного на нулевом отсчете O рейки и L'_i до другого экрана-отражателя, установленного на оси второго рельса. В этом случае P_i будут равны разностям $L_i - L'_i$.

4. Нивелирование подкрановых рельсов

Оно может осуществляться геометрическим, тригонометрическим, гидростатическим, комплексным методами или с использованием ориентированных горизонтальных оптических или лучевых створов [33].

- **Геометрическое нивелирование** с использованием точного нивелира типа Н-3 является наиболее распространенным на практике. Передача отметок с одного ряда рельсов на другой должна производиться не реже, чем через 70-100 м. Невязка в полигонах не должна превышать 3 мм.

Из всего многообразия возможных схем геометрического нивелирования (рис. 96) наиболее употребительны две из них, представленные на рис. 96, в и рис. 96, г. Первая схема применяется для труднодоступных путей, когда выход реечников на рельсы исключен. Здесь нивелир устанавливают на одном кране, а реечники перемещаются на другом. Точки K и K' используются как связующие при нивелировании участка с нескольких станций. Для доступных подкрановых путей применяют схему на рис. 96, г. Здесь нивелир устанавливают на одной из рельсовых нитей и производят веерообразное нивелирование всех точек контролируемого участка с одной станции.

Обработка результатов нивелирования заключается в определении условных отметок головок рельсов. Для этого точке с минимальным отсчетом по рейке присваивается условная отметка 0 мм. Условные отметки других точек получают как разность минимального отсчета и отсчетов по рейке на этих точках. По условным отметкам головок рельсов строят продольные профили для каждой рельсовой нити, а также определяют разности отметок на соседних колоннах и в поперечных сечениях. Результаты определения непрямолинейности рельсов, ширины колеи и нивелирования отражаются на графике планово-высотного положения подкрановых путей (рис. 97).

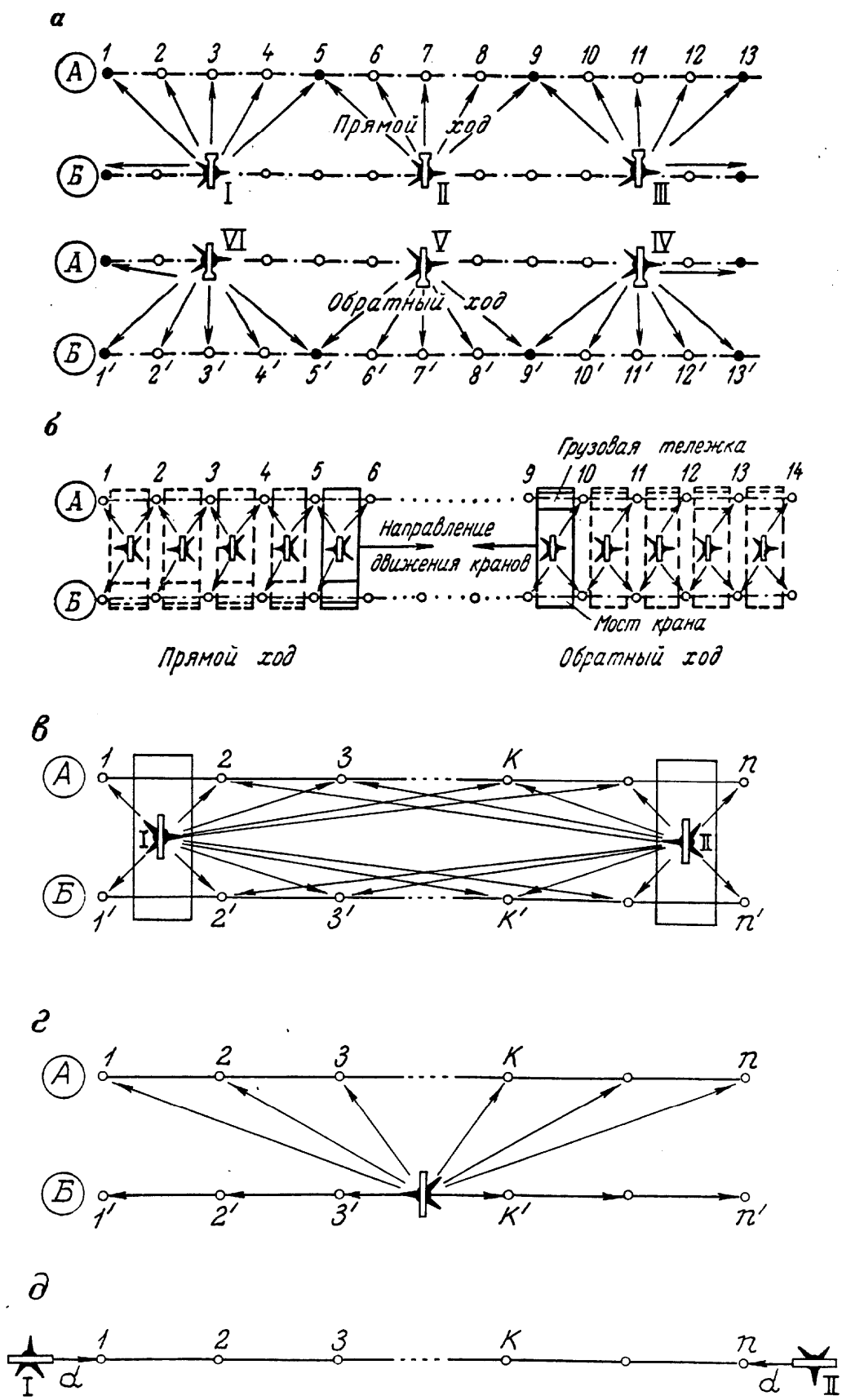


Рис. 96. Схемы геометрического нивелирования подкрановых рельсов

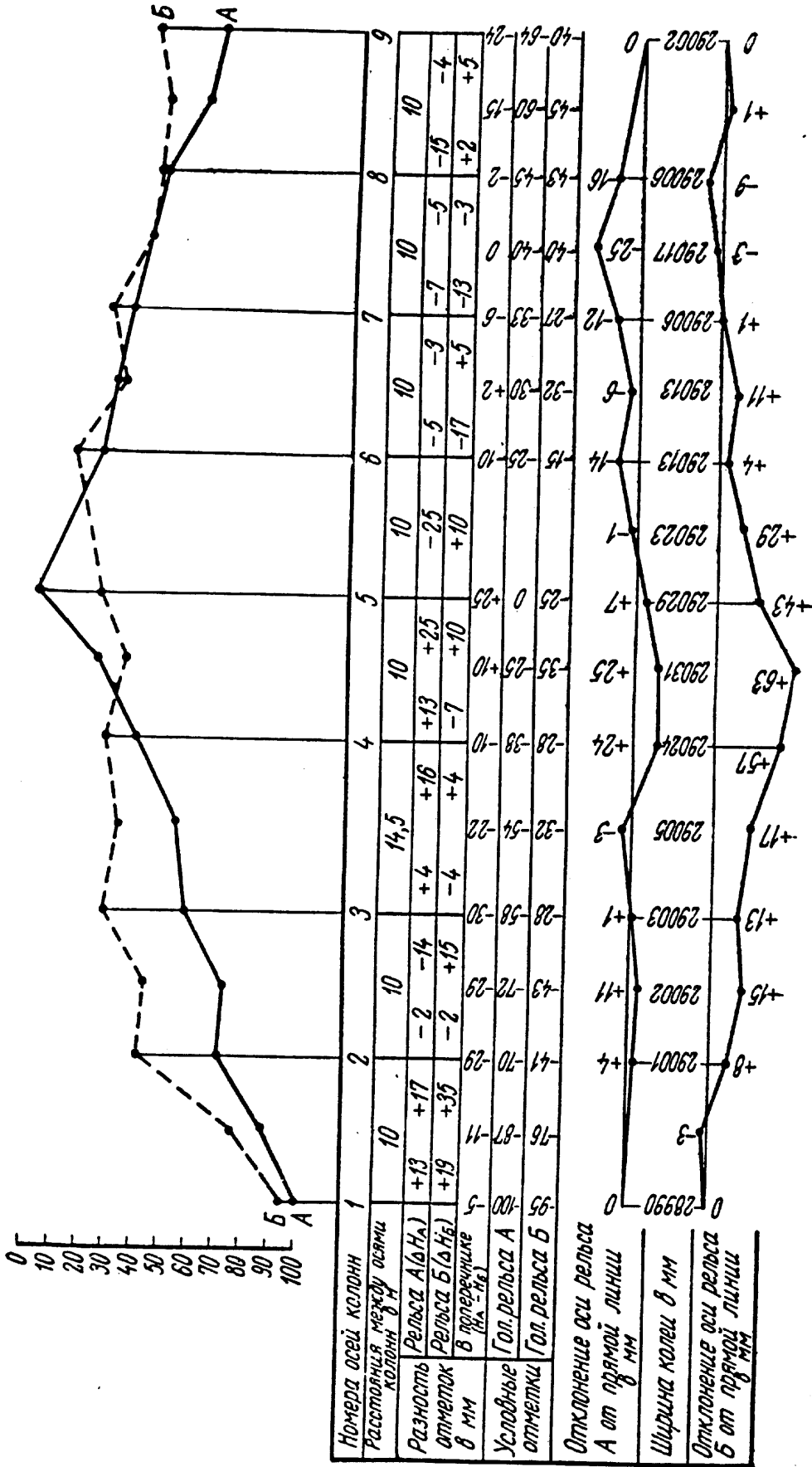


Рис. 97. График плано-высотного положения подкрановых путей

Обратим внимание, что один из способов нивелирования подкрановых рельсов с установкой нивелира на полу цеха может осуществляться с помощью рейки подвешенной к горизонтально установленному на головке рельса бруску (рис. 98).

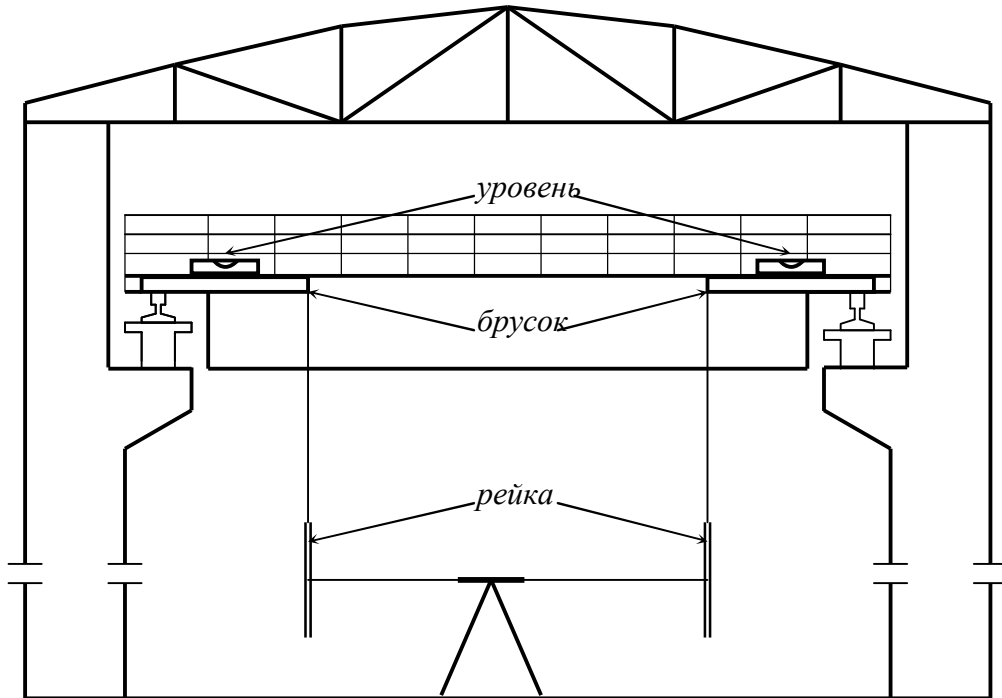


Рис. 98. Схема нивелирования подкрановых рельсов с пола цеха

Вместо рейки можно использовать рулетку с грузом на конце. Основным недостатком этого способа является необходимость использования подвесной рейки (рулетки), что в цехах с большой насыщенностью технологическим оборудованием затруднено или невозможно. Устранить указанный недостаток можно путем использования лазерной рулетки.

• **Нивелирование с использованием лазерной рулетки** может выполняться по нескольким схемам. Эти схемы предусматривают измерение вертикального расстояния между головкой рельса и точкой C , расположенной на полу цеха или на поверхности технологического оборудования (рис. 99). Последующее нивелирование таких точек с привязкой к реперу позволит определить отметки головок рельсов.

Так, схемы на рис. 99, *а*, *б* предусматривают закрепление лазерной рулетки на одном конце бруска с уровнем. Установив брусок в горизонтальное положение, измеряют вертикальное расстояние h до точки C .

В первом случае (рис. 99, *а*) необходим выход работника на крановый путь. Во втором случае (рис. 99, *б*) измерения можно производить непосредственно с моста крана, вычитая из полученных результатов высоту подставки δ . Эти схемы можно использовать при небольшой длине бруска, позволяющей

одновременно наблюдать положение пузырька уровня и манипулировать кнопками лазерной рулетки.

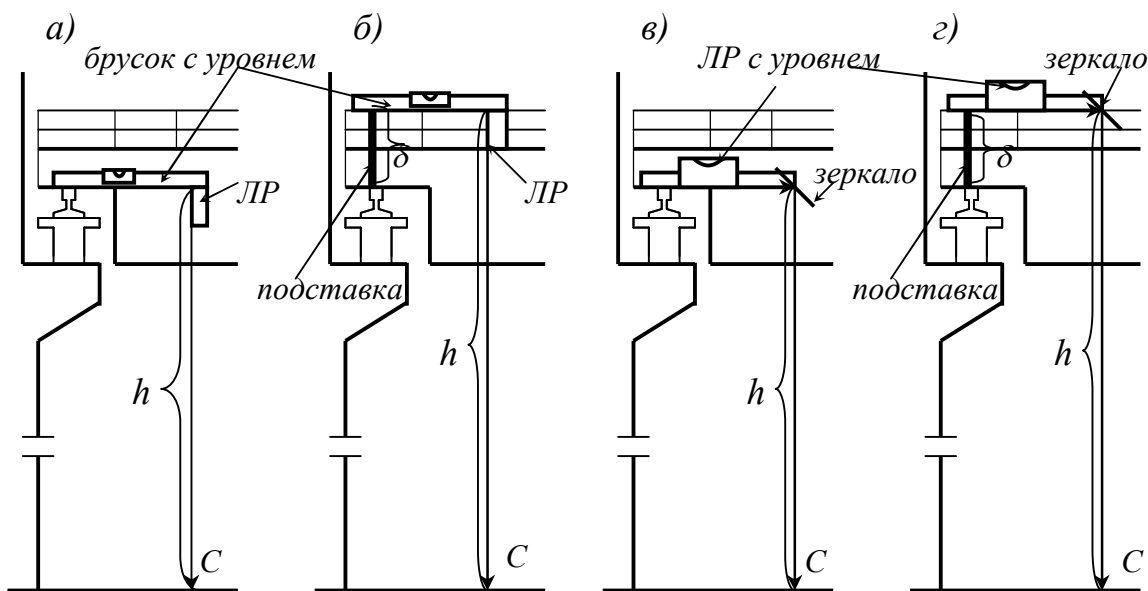


Рис. 99. Схемы нивелирования с помощью лазерной рулетки (ЛР)

Если условия съемки требуют значительной длины бруска, то можно воспользоваться лазерно-зеркальным устройством. Здесь (рис. 99, в, г) на одном конце бруска закреплено зеркало под углом 45° к направлению лазерного пучка рулетки, установленной на бруске на известном расстоянии от зеркала. Измерения можно производить как с выходом на подкрановый путь (рис. 99, в), так и непосредственно с моста крана (рис. 99, г). Для определения величины h в первом случае из показаний на дисплее рулетки необходимо вычесть постоянное слагаемое – расстояние между рулеткой и зеркалом. Во втором случае из показаний на дисплее рулетки необходимо вычесть постоянное слагаемое и высоту подставки δ .

5. Передача отметок по вертикали и дополнительные измерения

При исследовании пространственного положения строительных конструкций промышленных объектов возникает задача передачи геодезических отметок от репера R_P на поверхности на верх колонн, нижний пояс ферм, головки подкрановых рельсов, верхние полки подкрановых балок и др. Обычно для этих целей используется подвешенная рулетка (рис. 100, а), по которой необходимо с помощью нивелира взять отсчеты c и d и отсчеты по рейкам a и b на нижнем и верхнем горизонтах передачи. В этом случае отметка H_P точки P , расположенной, например, на нижнем поясе фермы, будет равна:

$$H_P = H_{R_P} + a + cd + b, \quad (105)$$

где H_{Rp} – отметка репера, а $cd = (c - d)$.

Достоинством этого способа является возможность передачи отметки не только на точку P , но и на любую видимую точку на горизонте передачи. Недостаток способа заключается в необходимости подвешивания рулетки, трудности взятия по ней отсчетов вследствие ее кручения и в необходимости выполнения работ на нижнем и верхнем горизонтах передачи. Применение лазерной рулетки позволяет значительно упростить и ускорить измерительный процесс.

• **Передача отметок с использованием лазерной рулетки**, описанная в работе [24], заключается в том (рис. 100, б), что в точке C устанавливают нивелир с адаптером, на котором на известном расстоянии δ от визирной оси нивелира закреплена лазерная рулетка. Взяв отсчет a по рейке и измерив с помощью лазерной рулетки вертикальное расстояние h , вычисляют отметку точки P по формуле

$$H_P = H_{Rp} + a + \delta + h. \quad (106)$$

Недостатком этого способа, во-первых, является необходимость наличия специального адаптера, который бы подходил к конкретной марке нивелира и лазерной рулетки. Во-вторых, с места передачи может отсутствовать видимость на исходный репер. Это потребует дополнительной передачи отметки от репера на вспомогательную точку, видимую с точки стояния нивелира. Наконец, применяемый в этом способе метод нивелирования «вперед» гораздо менее точен по сравнению с обычно используемым методом нивелирования «из середины».

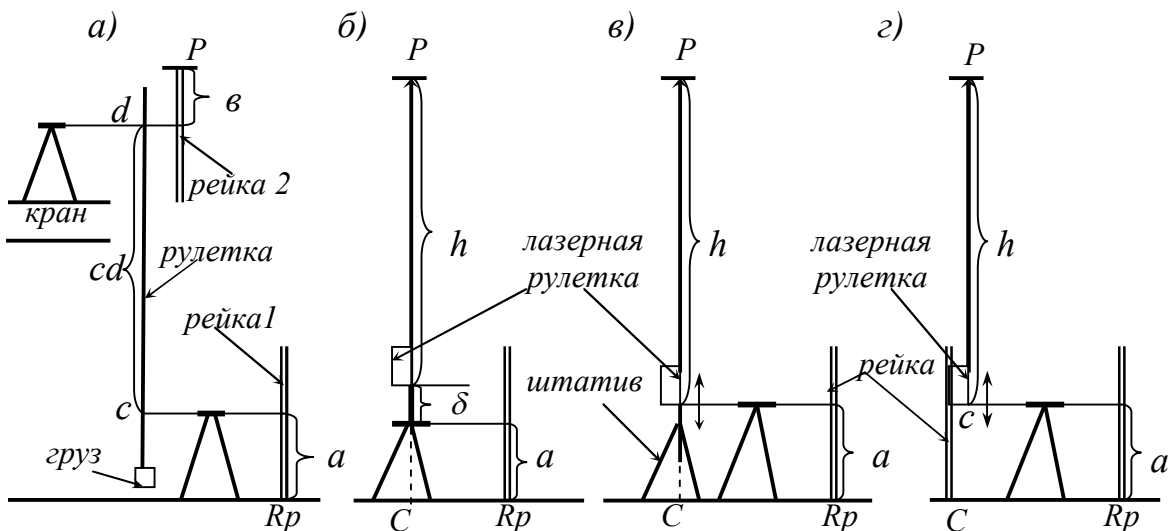


Рис. 100. Схемы передачи отметки обычным способом (а) и с помощью лазерной рулетки (б, в, г)

Для устранения этих недостатков предлагается вместо нивелира с адаптером использовать штатив с выдвижной головкой или обычную рейку. В первом случае (рис. 100, в) в точке C устанавливают штатив, на выдвижной головке которого закреплена лазерная рулетка [37]. Взяв отсчет a по рейке на репере, визируют на лазерную рулетку и, перемещая головку штатива вверх-вниз, устанавливают рулетку на уровне визирного луча нивелира. Измеряют с помощью рулетки вертикальное расстояние h и вычисляют отметку точки P по формуле

$$H_P = H_{Rp} + a + h. \quad (107)$$

Другой предлагаемый способ (рис. 100, з) заключается в том, что в точке C устанавливают рейку. Взяв отсчет a по рейке на репере и отсчет c по рейке на точке C , прикладывают лазерную рулетку к отсчету c , измеряют вертикальное расстояние h и вычисляют отметку точки P по формуле (107). Во всех перечисленных выше способах вертикальность лазерного луча контролируют по круглому уровню на нивелире, выдвижной головке штатива или на рейке.

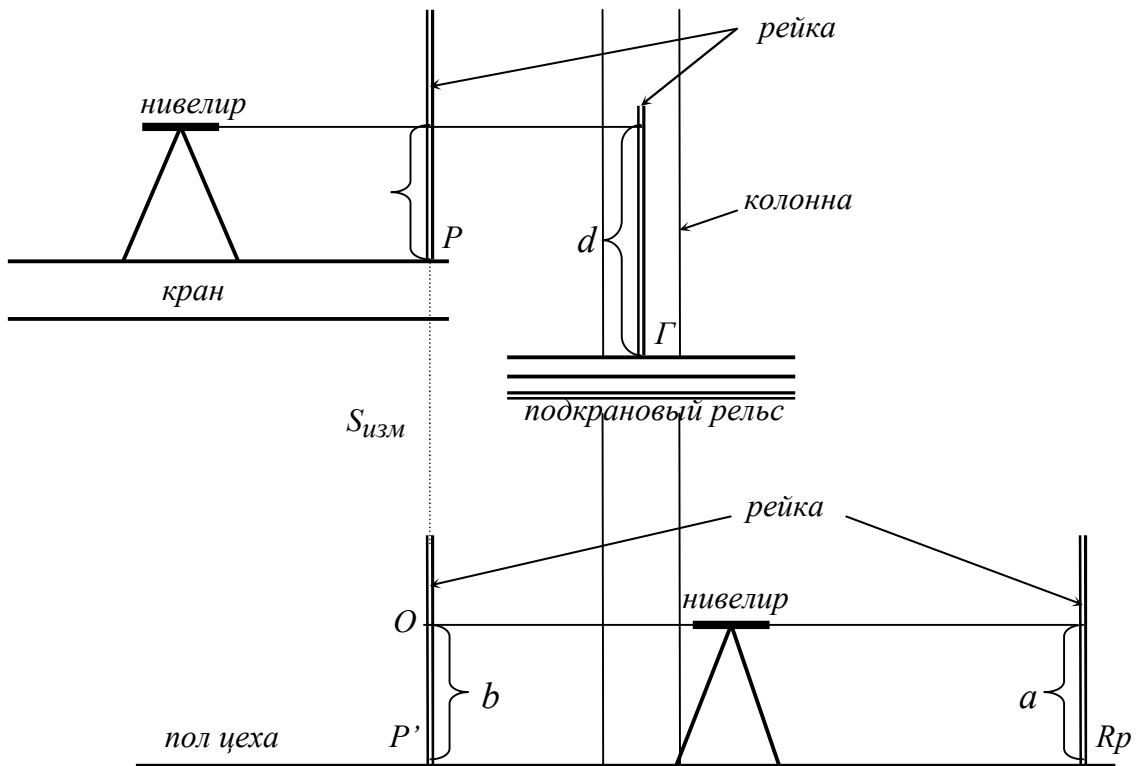


Рис. 101. Схема передачи отметки с помощью нивелира и лазерной рулетки

По предлагаемой методике можно передать отметку на любую видимую точку P сооружения. Вообще говоря, отметка с точки C на точку P может быть передана путем непосредственного измерения расстояния сверху вниз или снизу вверх между этими точками с помощью лазерной рулетки. Так, в одном

из корпусов ОАО НАЗ «СОКОЛ» авторами была опробована методика такой передачи отметки от репера R_p на головку рельса Γ кранового пути (рис. 101). Для этого на краю одной из главных балок крана выбиралась точка P , которая с помощью шнурового отвеса была спроектирована на пол цеха (точка P'). Лазерной рулеткой измерили расстояние $PP' = S_{изм}$. Для контроля измерения производились как сверху вниз, так и снизу вверх. А затем обычным нивелированием отметку от репера R_p передали на головку рельса Γ :

$$H_{\Gamma} = H_{R_p} + a + (S_{изм} - b) + c - d, \quad (108)$$

где H_{Γ} и H_{R_p} – отметки точки Γ и репера R_p ; a , b , c и d – отсчеты по рейкам.

Также был опробован другой способ передачи отметки по схеме на рис. 100, *з*. Вначале по рейкам брали отсчеты a и b (рис. 101). Затем к рейке, установленной по круглому уровню в точке P' прикладывали к отсчету b в точке O лазерную рулетку и измеряли расстояние до экрана в точке P , равное в формуле (108) выражению в скобках $(S_{изм} - b)$. Оба способа дали практически одинаковые результаты, сопоставимые по точности с обычным способом передачи отметки с помощью нивелира и подвешенной рулетки (рис. 100, *а*). Кроме того отметим, что схемы (рис. 100, *б*, *в*, *з*) в некотором видоизмененном виде могут применяться и для передачи отметок сверху вниз (см. рис. 99).

• **Дополнительные измерения** предусматривают: измерение смещения рельса с оси подкрановой балки; измерение расстояния от грани каждой колонны до оси рельса; определение взаимного смещения торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте. Измерения производят, как правило, с помощью линейки с точностью 1 мм.

Кроме того, для составления проекта рихтовки подкрановых путей должны быть измерены расстояния: от наиболее выступающих частей торцов крана до граней колонн или стен (должно быть не менее 60 мм); от самой высокой точки крана до нижнего пояса стропильных ферм или предметов, прикрепленных к ним (должно быть не менее 100 мм).

Проект рихтовки подкрановых путей должен разрабатываться с учетом существующих допусков при их эксплуатации. Согласно [22] разность отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении 40 мм, на соседних колоннах 20 мм; сужение или уширение колеи рельсового пути 15 мм; отклонение оси рельсов от прямой линии в плане 20 мм; взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте 2 мм; зазоры в стыках рельсов при 0°C и длине рельса 12,5 мм не более 6 мм, при 20°C не более 3 мм.

Дополнительные сведения об этих и других, встречающихся на практике способах геодезической съемке подкрановых путей, ходовой части мостовых кранов, недоступных путей, подкрановых балок, о некоторых аспектах автоматизации съёмки и оптимизации положения подкрановых рельсов можно почерпнуть из нашей монографии [33].

Глава 6. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

Измерение деформаций методом фотограмметрии (измерительной фотографии) заключается в определении разности координат точек сооружения, найденных по фотоснимкам нулевого цикла и фотоснимкам последующих циклов.

В этом методе наблюдений сооружение маркируют и затем фотографируют через определенный промежуток времени, сохраняя каждый раз местоположение и ориентирование фотокамеры неизменным. Это необходимо для обеспечения постоянного положения фотоснимков в пространстве в момент съемки. Такое положение определяется так называемыми элементами внутреннего и внешнего ориентирования.

Элементы внутреннего ориентирования (фокусное расстояние f фотокамеры и координаты x_0, z_0 главной точки O снимка) определяют положение задней узловой точки объектива относительно фотоснимка. Элементы внешнего ориентирования (линейные: X_S, Y_S, Z_S - координаты центра объектива в принятой геодезической, условной или пространственной фотограмметрической системах координат XYZ ; угловые: углы поворота фотоснимка вокруг осей X, Y и Z) определяют положение фотоснимка относительно принятой пространственной системы координат.

Для фототопографической съемки сооружений применяют фототеодолиты, измерительные и стереофотограмметрические камеры.

Фототеодолит представляет собой соединение теодолита с фотокамерой. Теодолит необходим для определения положения оптической оси фотокамеры в пространстве и правильной установки плоскости снимка в момент съемки. Фототеодолиты классифицируются по формату кадра (6x9, 10x15, 13x18, 18x24 см и др.), по углу поля зрения, фокусному расстоянию и другим параметрам. Широкое распространение получили фототеодолиты формата 13x18 см с фокусным расстоянием около 200 мм.

По устройству фототеодолиты делятся на три группы:

1. Фототеодолиты, у которых теодолит скреплен с фотокамерой (приборы типа ТАН, ВИЛЬД).

2. Фототеодолиты, у которых фотокамера может быть зрительной трубой теодолита. Для этого вместо фотопластинки используют специальную кассету с окуляром.

3. Фототеодолиты, состоящие из фотокамеры, к которой придается какой-нибудь серийный теодолит («Геодезия», С-3В, С-5В, ТАН, Phothéo 19/1318).

Независимо от типа фототеодолита все они имеют уровни для приведения оптической оси фотокамеры в заданное положение.

Для фотосъемки инженерных сооружений с близких расстояний может применяться универсальная измерительная камера УМК 10/1318 с форматом

снимка 13x18 см и фокусным расстоянием 100 мм. Камера снабжена ориентирным устройством, играющим роль теодолита (рис. 102, *а*).

Точки, с которых производят фотосъемку сооружения, закрепляют на местности постоянными знаками, обеспечивающими их сохранность на весь период наблюдений. В качестве таких знаков целесообразно использовать специальные монолитные столбы, на которые устанавливается фототеодолит. Этим обеспечивается полная стабильность положения центров проекции (центр объектива) в нулевом и каждом последующем цикле наблюдений.

Малоформатные стереокамеры SMK 5,5/0808/40 и SMK 5,5/0808/120 с форматом кадра 8x8 см, фокусным расстоянием 55 мм представляют собой две так называемые спаренные камеры, расположенные на концах фиксированного базиса длиной 40 или 120 см. Они могут применяться для съемок в диапазоне расстояний соответственно 1,5 – 10 м и 5 – 30 м (рис. 102, *б*, *в*).

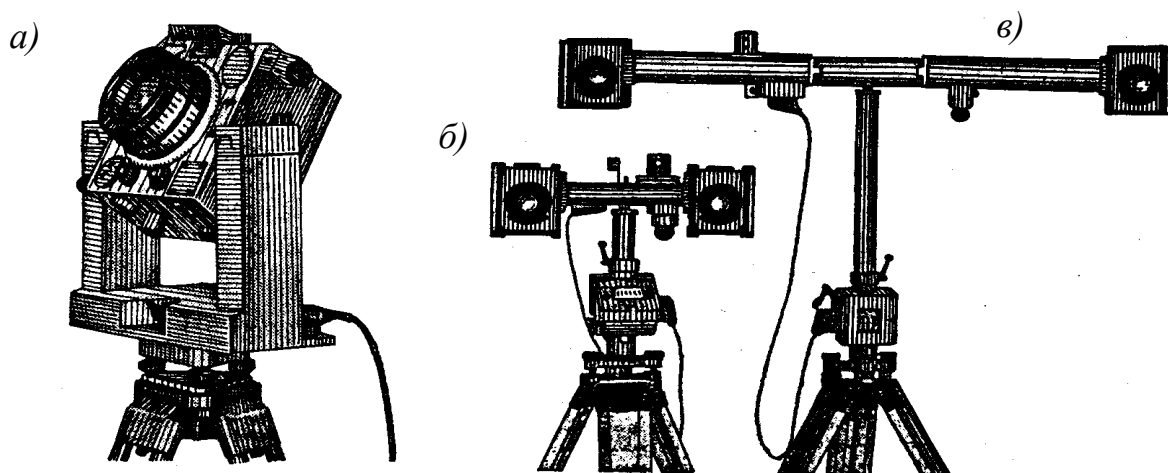


Рис. 102. Внешний вид одиночной камеры UMK 10/1318 (*а*) и спаренных фотокамер SMK 5,5/0808/40 (*б*) и SMK 5,5/0808/120 (*в*)

Перед началом работ сооружение маркируют, то есть на нем закрепляют специальными марками точки, координаты которых будут периодически определяться после каждого цикла. Такие определения осуществляют путем измерения фотоснимков на специальных приборах – стереокомпараторах (соединение стереоскопа и прибора для измерения координат на снимке).

Наиболее удобен маркировочный знак в виде белого квадрата с изображением на нем черного креста с полосами шириной 10 мм. Некоторые из этих марок принимают в дальнейшем в качестве так называемых контрольных точек. Определяют плановые координаты X , Y и отметки Z контрольных точек при нулевом и каждом последующем цикле обычными геодезическими методами (защелки, нивелирование). По координатам этих точек, полученных фотограмметрическим и геодезическим способами, судят о неизменности элементов внеш-

него ориентирования снимков и, при необходимости, вводят соответствующие поправки.

Различают фотограмметрический (от греческого: photos – свет, gramma – запись, metro – измеряю) и стереофотограмметрический методы определения деформаций. Первый метод предназначен для определения деформаций в одной плоскости, второй – для определения деформаций по любому направлению.

Следует сразу оговориться, что фотограмметрическая обработка снимков потребует квалифицированного исполнителя и знания современных автоматизированных программ такой обработки. В настоящее время для фотограмметрических измерений снимков можно использовать компьютерный стереокомпаратор KSK-4 или одну из цифровых фотограмметрических систем ЦФС, таких, например, как ERDAS, ENVI, PHOTOMOD.

1. Фотограмметрический метод

Он заключается в том, что сооружение фотографируют в каждом цикле с одних и тех же изолированных точек 1, 2, ... (рис. 103, а). Такая съемка носит название съемки с нулевым базисом.

При съемке устанавливают плоскость прикладной рамки фототеодолита параллельно основной плоскости исследуемого сооружения. Если координаты x_i и z_i некоторой точки C сооружения в i -м цикле наблюдений отличаются от координат x_0 и z_0 этой точки в нулевом цикле, то боковой сдвиг ΔX_i точки C и ее осадку ΔZ_i вычисляют по формулам

$$\Delta X_i = \frac{Y}{f}(x_i - x_0) = \frac{Y}{f}\Delta x_i = M\Delta x_i, \quad \Delta Z_i = \frac{Y}{f}(z_i - z_0) = \frac{Y}{f}\Delta z_i = M\Delta z_i. \quad (109)$$

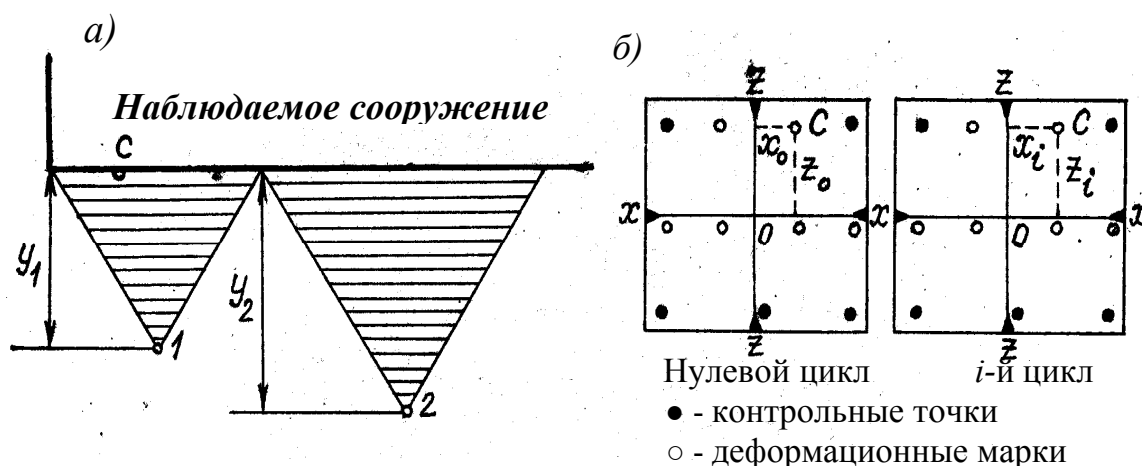


Рис. 103. Схема фотограмметрического метода съемки (а) и фотоснимки (б)

Отстояние Y фотокамеры от объекта измеряют непосредственно на местности. Зная фокусное расстояние фотокамеры, определяют масштаб M изображения на фотоснимке. Его можно также вычислить как отношение расстояний между контрольными точками в натуре и на фотоснимке. Смещения Δx_i и Δz_i точки C вдоль осей x и z измеряют на стереокомпараторе, закладывая в его левую кассету снимок нулевого цикла, а в правую – снимок текущего цикла.

При правильной организации работ влияние ошибок величин Y и f можно свести к минимуму. Тогда ошибка определения ΔX_i и ΔZ_i не превысит 1–2 мм. При этом оптимальное отстояние Y_{max} фотокамеры не должно превышать величины:

$$Y_{max} = f \frac{m_{\Delta x, \Delta z}}{\sqrt{2}m_{x,z}}, \quad (110)$$

где $m_{\Delta x, \Delta z}$ и $m_{x,z}$ - соответственно средние квадратические ошибки определения по снимкам смещений и координат.

На практике нередки случаи, когда при съёмке объекта (например, дымовой трубы) с близких расстояний, он не помещается на снимке. В данной ситуации в работе (Куштин В.И. *Использование теоремы перспективы при определении прямолинейности деталей сооружений. Геодезия и фотограмметрия: Сб. науч. трудов. – Ростов н/Д: РГАС, – 1996. – С. 85–89*) предлагается выполнить фотографирование на несколько снимков: на вертикальный и один или несколько наклонных, причем соседние снимки должны иметь перекрытие. На примере определения отклонения оси дымовой трубы от вертикали рассмотрена обработка таких снимков с позиций теоремы теории перспективы.

В настоящее время широкое распространение получили цифровые видеоизмерительные устройства на базе использования ПЗС-матриц в сочетании с компьютерной техникой (так называемые неметрические цифровые камеры). В работе [28] рассматриваются технологические схемы применения таких камер в целях выполнения съёмок с близких расстояний (30-100 м) для получения иллюстративного материала при решении топографических, промышленных, внутрицеховых, монтажных задач. При определении деформаций зданий и сооружений съёмка трещин камерой на фоне миллиметровой линейки значительно упрощает работы и обеспечивает высокую эффективность и точность измерений 0,05-0,1 мм. При проведения наземной стереосъёмки для получения обмерных чертежей архитектурных и инженерных объектов неметрические цифровые камеры необходимо калибровать. Для этого можно использовать координаты большого количества замаркированных точек объекта, определенных электронным тахеометром.

Цифровые камеры можно использовать при определении крена высотных сооружений по методике, описанной в работе (Ламбин Н.Е., Соловей П.И. *Метод фоторегистрации при определении крена высотных сооружений // Геодезическое обеспечение строительства. – М., 1987. – С. 121–124*). Сущность ме-

тогда состоит в том, что внизу трубы на специальном кронштейне устанавливается фоторегистрирующее устройство. С его помощью на фотоснимках фиксируют положение специальной марки на верху трубы, вынесенной на соответствующее расстояние. Производя измерения на снимках в каждом цикле наблюдений, определяют величину и направление крена по величине и направлению смещения марки.

2. Стереофотограмметрический метод

Он заключается в том, что наблюдаемый объект фотографируется с двух точек стояния (с некоторого базиса B), в результате чего получают пару перекрывающихся снимков. Базис фотосъемки следует располагать по возможности параллельно основной плоскости сооружения. Длину базиса выбирают равной $1/5 - 1/10$ величины отстояния Y , что обычно составляет 3–5 и редко 10 м.

При съемке оптическая ось фотокамеры может устанавливаться в различное положение относительно горизонтальной плоскости и линии базиса. Различают следующие случаи фотосъемки:

- *нормальный* (оси левой и правой фотокамер горизонтальны, перпендикулярны базису, а плоскость фотоснимков отвесна);
- *равномерно отклоненный* (оси фотокамер отклонены влево или вправо на один и тот же угол);
- *конвергентный* (оси фотокамер пересекаются под некоторым углом);
- *равномерно наклонный* (оси фотокамер наклонены на один и тот же угол);
- *общий* (положение оптических осей фотокамер произвольно).

Нормальный случай фотосъемки применяется наиболее часто. Фотосъемку длинных сооружений производят с нескольких, расположенных в створе изолированных или связанных между собой базисов. В последнем случае при оптимальных параметрах фотосъемки может быть значительно сокращен объем работ, поскольку правый фотоснимок первой стереопары будет служить левым фотоснимком второй стереопары и т.д. (рис. 104).

На сооружении маркируют контрольные точки так, чтобы четыре из них располагались по углам стереопары, а пятая – посередине между нижними точками.

За начало пространственной фотограмметрической системы координат принимают оптический центр S_L объектива при положении фотокамеры на левой точке базиса. За ось X принимают направление горизонтальной проекции базиса, за ось Y – направление оптической оси фотокамеры в левой точке S_L , а за ось Z – вертикальную линию. В качестве пространственной геодезической системы координат может быть взята система координат сооружения (рис. 104, а).

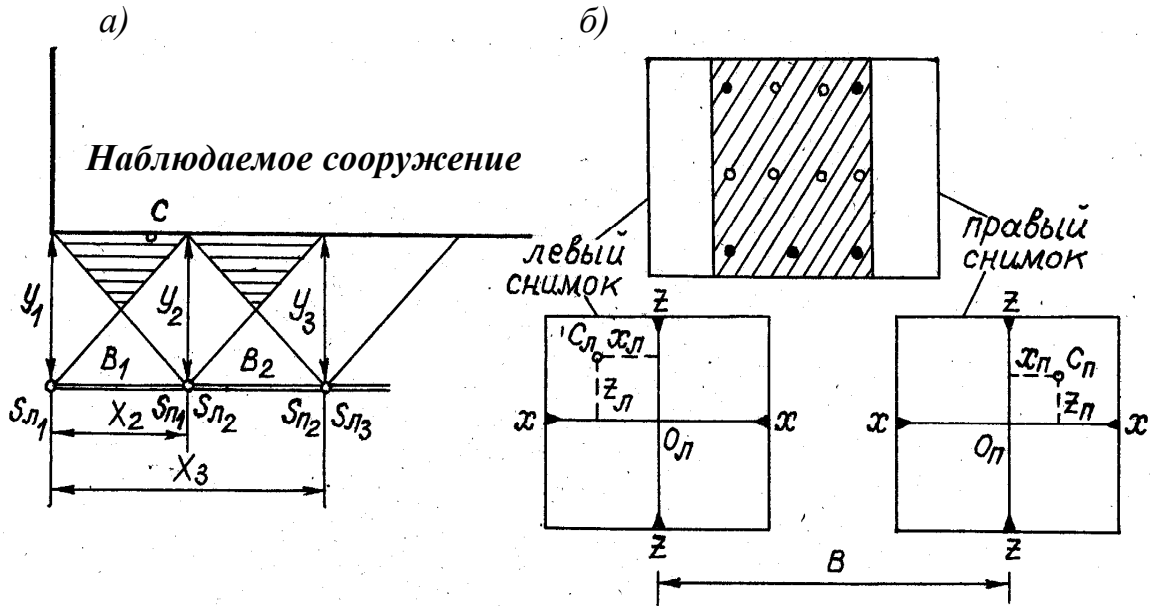


Рис. 104. Схема стереофотограмметрического метода съемки (а) и стереопара (б)

На стереокомпараторе измеряют координаты намеченной точки C сооружения ($x_{Л}$, $z_{Л}$ — на левом снимке и $x_{П}$, $z_{П}$ — на правом снимке) и горизонтальный параллакс $p = x_{Л} - x_{П}$. Зная фокусное расстояние f фотокамеры и горизонтальное проложение базиса B , вычисляют пространственные координаты точки C сооружения по формулам

$$Y = \frac{B}{p} f, \quad X = \frac{B}{p} x_{Л}, \quad Z = \frac{B}{p} z_{Л}. \quad (111)$$

Нулевой и последующие циклы наблюдений производят с одних и тех же базисов при строго одинаковом ориентировании фототеодолита. По снимкам нулевого и i -го циклов, полученным с одного и того же базиса, измерив координаты x_0 , z_0 и x_i , z_i точек сооружения, а также горизонтальные параллаксы p_0 и p_i , вычисляют деформации точек:

$$\begin{aligned} \Delta Y_i &= Y_i - Y_0 = Bf \left(\frac{1}{p_i} - \frac{1}{p_0} \right), \\ \Delta X_i &= X_i - X_0 = B \left(\frac{x_i}{p_i} - \frac{x_0}{p_0} \right), \\ \Delta Z_i &= Z_i - Z_0 = B \left(\frac{z_i}{p_i} - \frac{z_0}{p_0} \right). \end{aligned} \quad (112)$$

При условии строгого соблюдения единообразия установки фототеодолита на концах базиса можно определять величины смещений ΔY_i , ΔX_i , ΔZ_i с точностью 2–3 мм. Этого можно достичь, соорудая на концах базиса бетонные столбы со специальными центрами, дающими возможность устанавливать камеру и визирную марку однообразно и с высокой степенью точности. При этом оптимальное соотношение между базисом фотографирования B и отстоянием фотокамеры Y от наблюдаемого объекта можно установить по формуле

$$B = Y^2 \frac{m_p}{m_y f}, \quad (113)$$

где m_p – погрешность определения горизонтального параллакса; m_y – погрешность в определении отстояния на местности.

В качестве примера применения фотограмметрии для наблюдения за деформациями строительных сооружений можно привести описанную в работе [64] методику и технику наземной стереосъемки, применяемой в ФРГ для наблюдений за деформациями сооружений под влиянием горных разработок. Показано, что при обычном методе съемки точность определения координат точек составляет 5 мм, а за счет применения уравнивания по связкам может быть доведена до 2 мм. Описан новый метод съемки зданий, при котором с произвольно выбранных точек, расположенных вокруг здания, производится серия снимков, образующих замкнутое кольцо. Методика съемки при этом упрощается, а ее точность существенно повышается.

В другой работе [57] анализируются возможности применения фотограмметрии применительно к следующим случаям: 1) измерение прогиба стропильных ферм; 2) выявление деформаций путем обработки одиночных стереопар фотоснимков перекрытий, длиной 15 м и 24 м, полученных камерой УМК 10/1318 в м. 1:150 и 1:180, обработанных на стереоприборе А-8. Средние квадратические ошибки определений составили 3-4 мм; 3) определение вертикальных деформаций стропильных ферм крыши способом измерения параллаксов по одиночным фотоснимкам, полученным в разное время; 4) измерение «развития» трещин способом проективного преобразования одиночной линии; 5) определение изменений наклона одиночных опор (при обработке фотоснимков масштаба 1:300 средние квадратические ошибки составили 1-3 мм).

О примерах фотограмметрических определений с точностью 1-15 мм размеров, положения, перемещения и деформации различных инженерно-промышленных сооружений: радиотелевизионной мачты высотой 240 м, градирни гиперболоидной формы, подъемного крана, несущих стен зданий можно прочесть в работе [63].

Отметим также работу [55] в которой рассматривается способ графического представления изменений во времени планового положения башен, вы-

шек, высотных зданий, плотин и геодезических пунктов, основанный на теории анаглифов. Изложена теория построения анаглифических фотоснимков. Приведен пример анаглифической картины, иллюстрирующей смещение точек высотного здания.

В работе [26] приводятся результаты наблюдений за кренами и прогибами высотных сооружений башенного типа с использованием универсальной метрической камеры УМК 10/1318.

Современные фотограмметрические измерительные системы, оборудованные малоформатными цифровыми фотокамерами и ПЗС-датчиками позволяют определять положения точек изображений объектов в малых пространствах с точностью на уровне 0,1 мм [65].

Глава 7. СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Подземные коммуникации подразделяются на трубопроводы и кабели. К трубопроводам относятся: водопровод, канализация, газопроводы (высокого, среднего и низкого давления), сети теплоснабжения (водяные и паровые). К кабелям относятся: электросети (силовые электрокабели) и телефонные сети.

В работе [1] достаточно подробно для своего времени описаны: классификация, устройство и проектирование подземных инженерных сетей; геодезическая и топографическая основы их съемки; приборы для поиска и обследования подземных сетей; съемка скрытых сетей; картографические работы, исполнительная съемка и обновление материалов такой съемки; техника безопасности и охрана труда при съемке подземных сетей.

В работе [66] излагаются физические основы функционирования кабелеискателей и описывается опыт их применения в ГДР.

1. Съёмка коммуникаций, имеющих выводы

К ним относятся колодцы, камеры, коверы, сифоны и др. При этом должны быть сняты геодезическими приемами:

- по водопроводной сети: магистральные трассы, дворовые и распределительные сети, места присоединения и ввода в дома, смотровые колодцы, гидранты, выпуски, водоразборные колонки, места пересечений с другими коммуникациями;

- по канализации и водостоку: магистральные трассы, коллекторы, уличные и дворовые сети, смотровые колодцы, углы поворота напорной канализации, места присоединений, врезки и выпуски, места пересечений с другими коммуникациями.

В состав съемки входит детальное обследование коммуникаций в колодцах, шурфах, камерах с обмером и составлением эскизов колодцев.

На эскизах указывают: отметку H крышки колодцев; H_1 – отметку головки гидранта; H_2 – отметку дна лотка или верха трубы; размеры a и a_1 по высоте; диаметры b и b_1 колодца; диаметр трубы d .

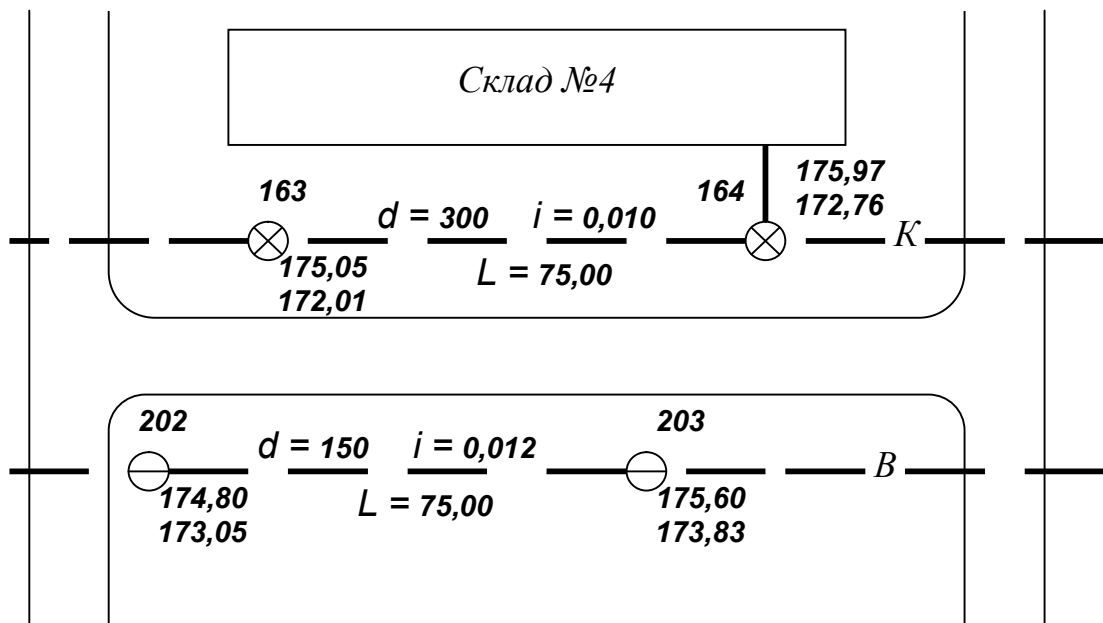
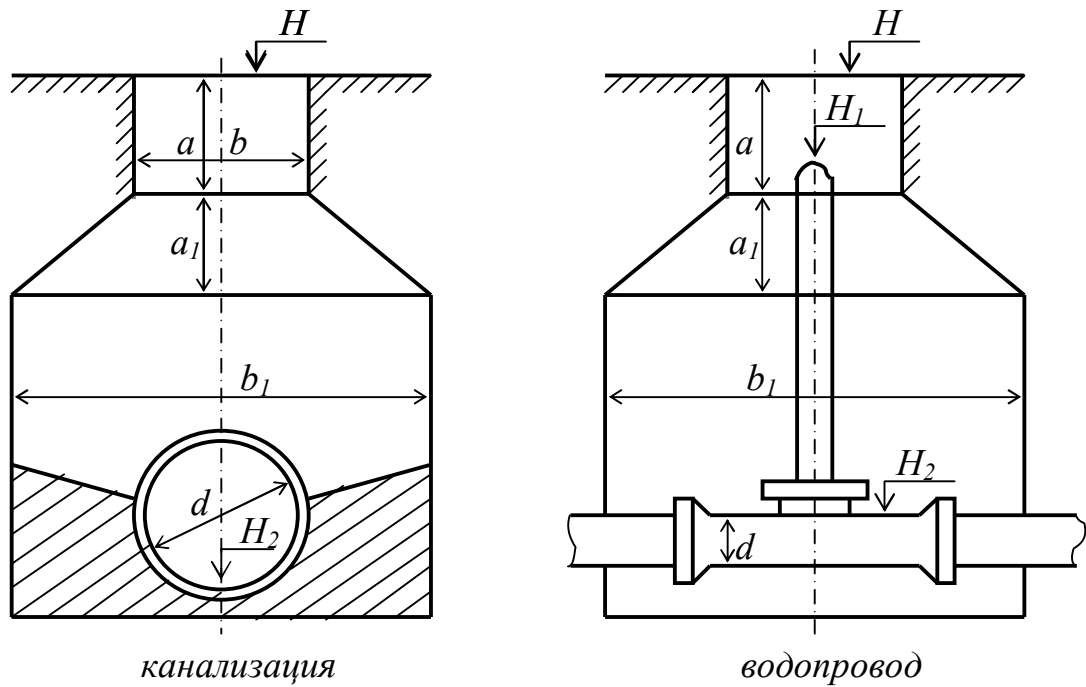


Рис. 105. Эскизы колодцев и фрагмент плана подземных сетей

На плане обследования сети указывают номера колодцев, отметки верха люка и дна лотка, диаметр трубы, уклон и расстояние между смежными колодцами.

Плановое положение подземных коммуникаций определяют относительно пунктов геодезической сети и относительно местных предметов, применяя при съемке засечки или способы прямоугольных координат, полярных координат и др.

Для измерения внешних диаметров труб, проходящих через смотровые колодцы, предназначены диаметромеры. Схема одного из них представлена на рис.106, а.

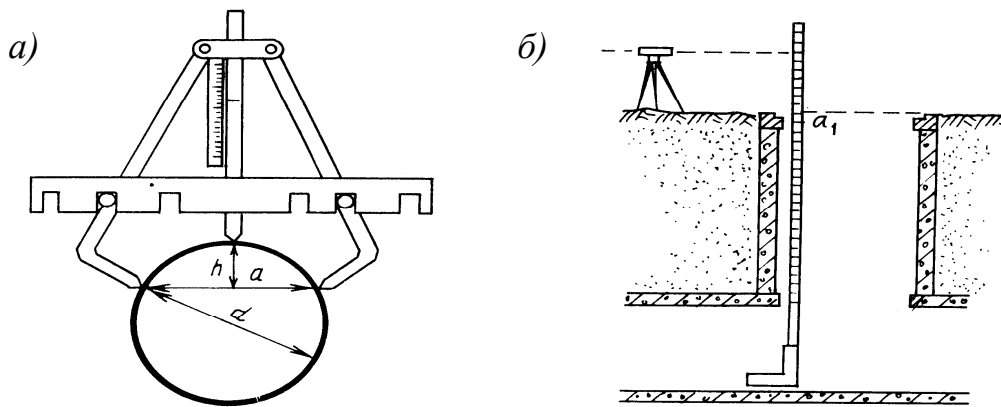


Рис.106. Схема диаметромера (а) и измерение внутреннего диаметра трубы (б)

По формуле: $d_H = h^2 + \frac{a^2}{4h}$ рассчитана шкала на диаметромере, по которой определяют величину внешнего диаметра трубы в момент касания подвижного штока и щупов с поверхностью трубы.

Если имеется возможность измерить длину K окружности трубы, то ее внешний диаметр будет равен: $d_H = 0,3183K$.

Для определения внутреннего диаметра труб опускают в колодец рейку-угольник (рис.106, б). Поставив ее на нижнюю точку трубы, берут отсчет a_1 по рейке относительно края кольца или по нивелиру. Затем угольник упирают в верхнюю точку трубы, берут отсчет a_2 и вычисляют внутренний диаметр трубы: $d_B = (a_1 - a_2) + b$, где b – ширина угольника.

Определение планового и высотного положения подземных коммуникаций, имеющих выводы, осуществляется контактным способом с помощью специальных приборов – трубокабелеискателей. Принцип действия таких приборов заключается в следующем (рис. 107).

Генератор Г подключают к искомой коммуникации (например, трубопровод) и на расстоянии 8-10 м его заземляют по перпендикулярному к ней направлению. По трубе пропускают переменный ток высокой частоты. Вокруг трубы создается магнитное поле П.

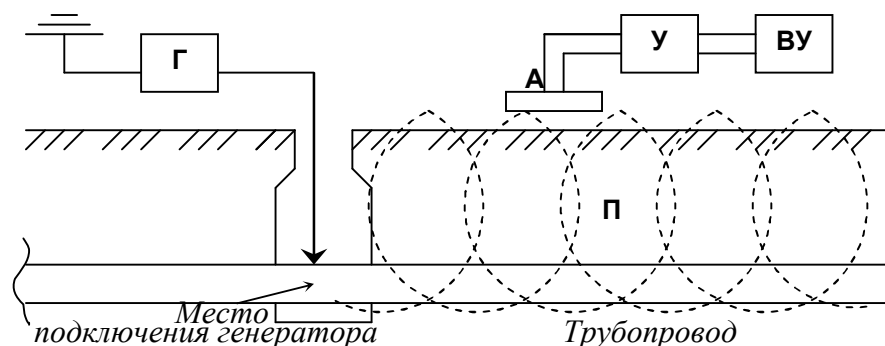


Рис. 107. Принципиальная схема устройства трубокабелеискателя

При внесении в зону магнитного поля ферритовой антенны A , в ней возникает переменная ЭДС. Ток через усилитель $У$ подается на воспроизводящее устройство $ВУ$, в качестве которого могут служить головные телефоны, микроамперметр, шкаловая индикация, цифровое отображение, светодиодный дисплей и др. Разворачивают антенну в горизонтальной плоскости до получения на $ВУ$ минимального сигнала, тогда направление оси антенны укажет на направление подземной коммуникации.



Рис. 108. Приборы поиска подземных коммуникаций

Из последних отечественных разработок следует отметить цифровой моблочный «Сталкер 75» (рис. 108, *а*), трасопоисковый приемник «Абрис ТМ-5» (рис. 108, *б*). Из зарубежных – новый трасопоискатель Vivax vLocPro (рис. 108, *в*) и трасопоисковый приемник SR-60 (рис. 108, *г*).

2. Съёмка коммуникаций, не имеющих выводов

Съёмка таких сетей может осуществляться либо с помощью рытья специальных шурфов, либо с помощью бесконтактного способа, когда подключение генератора к трубопроводам и кабелям невозможно или нежелательно. В этом случае генератор заземляется в двух или более точках, создавая тем самым вокруг коммуникации электромагнитное поле. Трубокабелеискатели и высокочувствительные трасопоискатели позволяют устанавливать индукционными способами плановое положение и глубину заложения труб и кабелей, расположенных на глубине до 10 м с ошибкой 0,1-0,5 м.

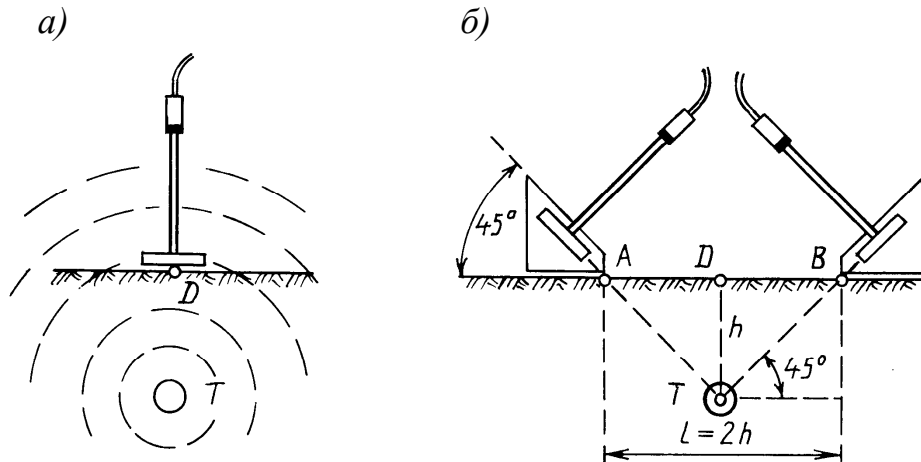


Рис. 109. Схема работы с трубокабелеискателем

Поисковый контур прибора располагают горизонтально в плоскости перпендикулярной к оси подземного объекта (рис. 109, *а*). Поисковый контур будет находиться над объектом в точке *D* при максимальном сигнале производящего устройства. Эту точку привязывают промерами к ближайшим местным предметам.

Для определения глубины залегания *h* объекта (рис. 109, *б*) поисковый контур закрепляют на угольнике под углом 45° к горизонтальной плоскости и перемещают относительно точки *D* поперек трассы в положение *A*, при котором сигнал в производящем устройстве прекращается. Расстояние $AD = h$. Перемещают поисковый контур во второе положение в точке *B* и измеряют отрезок $AB = 2h$.

При работе с приборами следует соблюдать установленные правила безопасности.

3. Съёмка неметаллических подземных коммуникаций

Съёмка коммуникаций, материал труб которых является неэлектропроводящим (асбест-цемент, полиэтилен, хлор-винил и т.п.), осуществляется с помощью либо специальных приборов – георадаров, либо акустического метода, при котором на трубу от генератора звуковых импульсов (типа «Ударник АГ-112», «RSP3») передаются акустические колебания. Такие звуковые импульсы распространяются по трубе, а на поверхности прослушиваются любым приемником акустических сигналов (точечискатель «ТА12-М», акустический датчик из комплекта «Успех АТГ-210»).

Другой способ заключается в том, что при прокладке неметаллических подземных коммуникаций используют технологию маркировки местоположения трассы специальными сигнальными устройствами – маркерами.

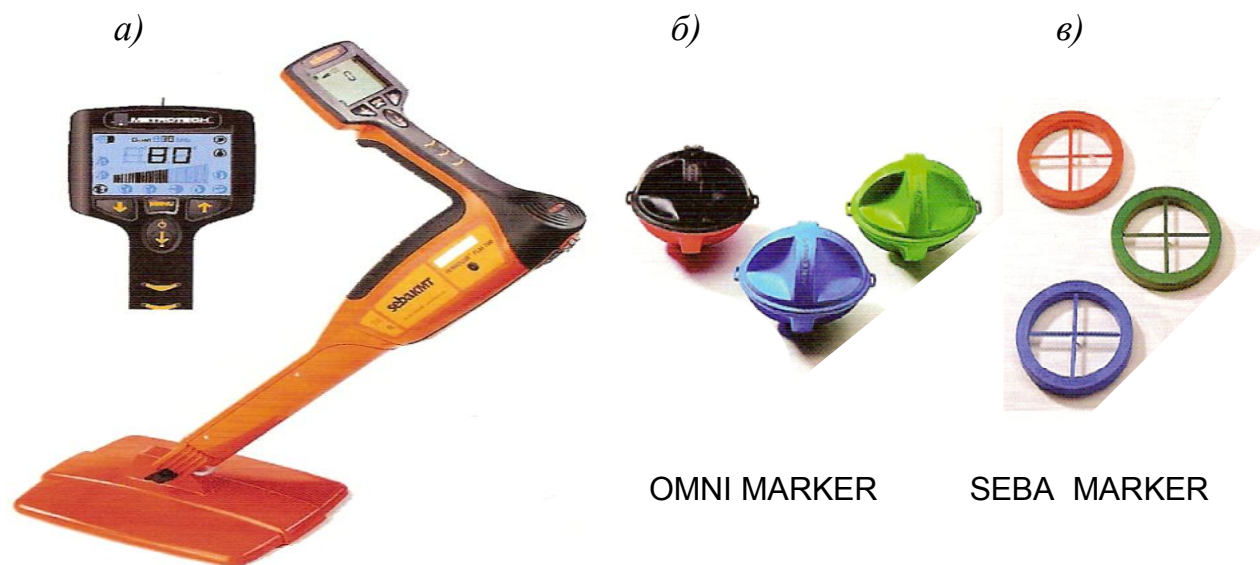


Рис. 110. Локатор (а) и маркеры (б, в) для неметаллических коммуникаций

Закопанный в землю маркер испускает сигнал определенной частоты, который легко можно засечь с поверхности земли приборами – маркероискателями типа «Ferrolux FLM 700» (рис. 110, а). Сами маркеры выпускаются в двух видах: OMNI MARKER и SEBA MARKER (рис. 110, б, в). Первый вид предназначен для маркировки коммуникаций на глубине до 1,5 м, а второй – для работ на глубине до 2,5 м. Маркеры не содержат жидкостей, подвижных частей и работают без батарей, поэтому срок их службы практически не ограничен.

Глава 8. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТРЕЩИНАМИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Наблюдения за трещинами могут производиться различными способами: простейшими измерениями; с помощью маяков (гипсовых, стеклянных, шкаловых, раздвижных металлических, с закладными металлическими частями и др.); с использованием деформометра, щелемера, измерительных скоб, отсчетного микроскопа; дистанционно-оптическим методом. Описание некоторых из них можно найти в работе (Григоренко А.Г., Сисин И.А., Сердюков В.М. *Технический контроль при эксплуатации подкрановых сооружений*. М.: Металлургия, – 1977, –272 с.).

1. Простейшие измерения

Простейшие измерения предусматривают периодическую фиксацию длины трещины при помощи штрихов, наносимых на конструкцию, и измерение ширины трещины миллиметровой линейкой. Точность таких измерений составляет 0,3-0,5 мм.

Наблюдения за раскрытием температурно-осадочных швов и трещин на вертикальных или горизонтальных поверхностях сооружений можно также производить по схеме на рис. 111. По обе стороны шва или трещины закрепляют три наблюдательных марки A , B и C и измеряют между ними расстояния a , b и c , а также превышения h_{AC} и h_{BC} .

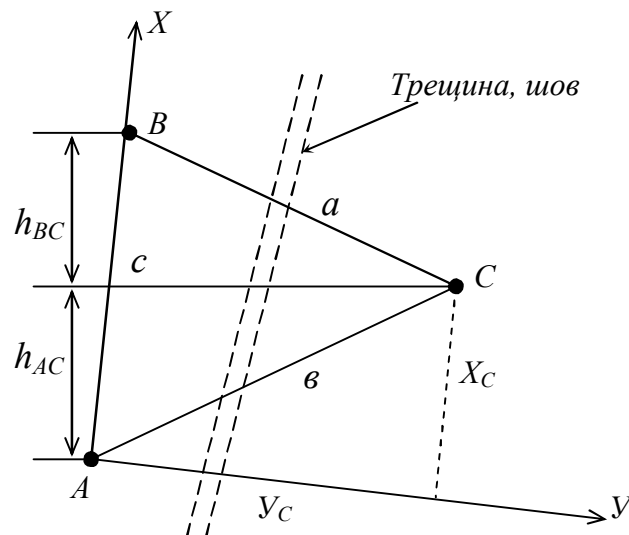


Рис. 111. Схема наблюдения за швами и трещинами на вертикальных или горизонтальных поверхностях сооружений

Вычисляют исходные условные координаты и отметку марки C по формулам

$$X_C = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c}, \quad Y_C = \sqrt{b^2 - X_C^2}, \quad H_C = H_A + h_{AC} = H_A + h_{AB} - h_{BC}. \quad (114)$$

В последующих циклах измеряют расстояния a , b и c , и превышения h_{AC} и h_{BC} и вычисляют условные координаты и отметку марки C по формулам (114). Изменения координат и отметки точки C между циклами наблюдений характеризуют величину и направление подвижки наблюдаемых элементов сооружения.

Если доступ к наблюдаемой конструкции затруднен, то измерения можно осуществлять дистанционно-оптическим или фотографическим способом. Дистанционно-оптический способ предусматривает использование теодолита, у которого сетка нитей заменена окулярной шкалой. В данном случае расстояние AB постоянно и является эталоном. Сравнивая измеренные в делениях шкалы расстояния AC и BC с эталоном, определяют их величину в миллиметрах. При увеличении зрительной трубы теодолита 25^{\times} и расстоянии визирования до 15 м точность способа составляет 1–1,5 мм.

Фотографический способ предусматривает фотографирование точек A, B, C с помощью цифровых фотоаппаратов, совместимых с персональным компьютером. Все необходимые измерения производятся на снимке, который масштабируется по эталону AB .

Наконец, условные координаты точек A, B, C могут быть периодически определены с помощью электронного тахеометра.

2. Применение маяков

Маяки изготовливают из цемента с примесью песка (для наружных конструкций), алебастра или гипса (для внутренних конструкций). Средние размеры маяков 150x80x10 мм. На рис. 112, a показан один из таких маяков.

На каждую трещину рекомендуется устанавливать два маяка: один в наиболее широком месте, другой у ее конца. Перед установкой маяка на конструкции по обе стороны трещины необходимо сделать насечку. На маяке указывают его номер, дату установки, а в журнале отмечают местоположение и ширину трещины.

Осмотр маяков производят через неделю после их установки, а затем периодически по мере развития трещины. Если трещина активна, то на маяке через некоторое время образуется разрыв. Дату его появления фиксируют в журнале, а трещину перекрывают новым маяком, и так до тех пор, пока развитие трещины не прекратится. Такие маяки предназначены, в основном, для фиксации факта активности (или неактивности) наблюдаемой трещины.

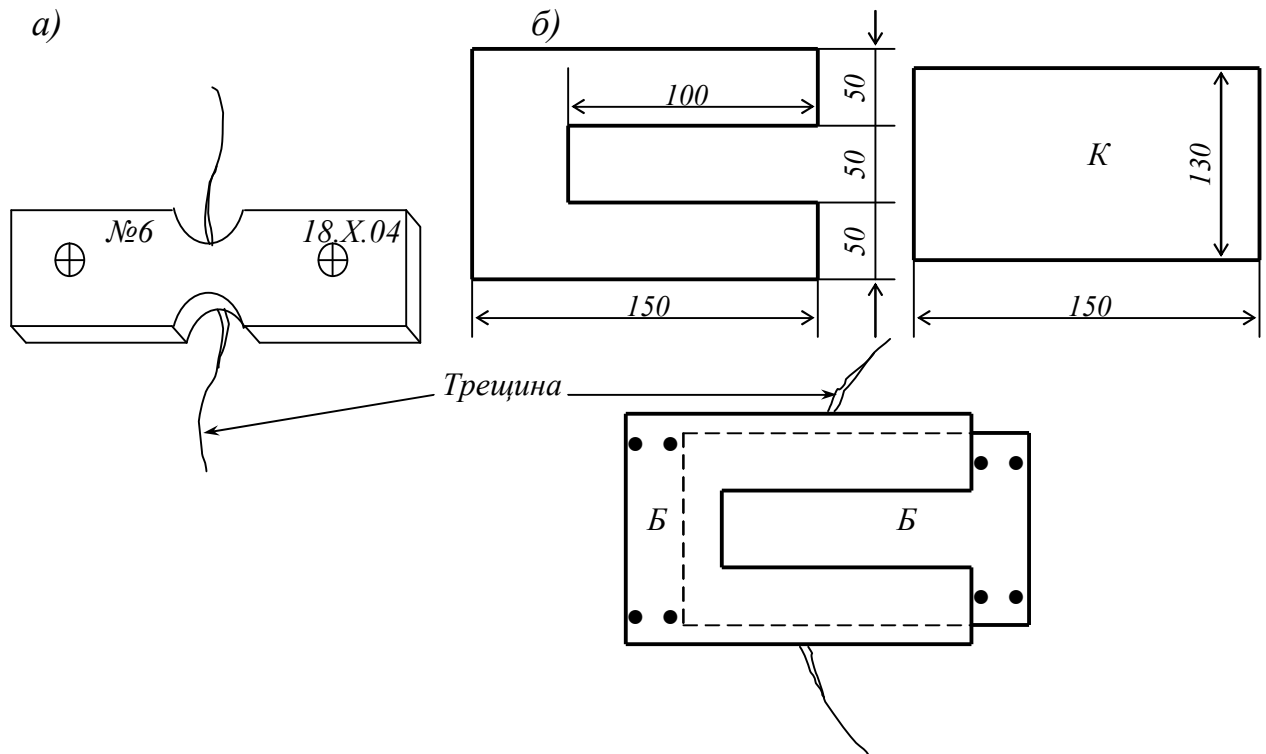


Рис. 112. Маяки: гипсовый (а) и пластинчатый раздвижной (б)

• **Пластинчатый раздвижной маяк** (рис. 112, б) предназначен для получения количественной характеристики поведения трещины. Он состоит из двух металлических пластинок толщиной 0,5 мм, одну из которых перед установкой на трещину закрашивают красной краской (К). После плотного наложения пластинок друг на друга и закрепления их на разных сторонах трещины, их совместно закрашивают белой краской (Б).

Если трещина активна, то на нижней пластинке через некоторое время появятся красные полосы. Их ширину периодически измеряют с помощью циркуля и масштабной линейки по двум направлениям: вдоль и поперек трещины. Точность способа 0,1 мм.

• **Маяки с металлическими закладными частями** предназначены для определения взаимных смещений сторон трещины в трех направлениях. Примером может служить маяк игольчатый (рис. 113).

Маяк представляет собой две прямоугольных гипсовых или алебастровых плиток размерами 10х6х2 см. В каждой из плиток закреплены остриями вверх по пять игл, выступающих на 1 мм над поверхностью. Плитки устанавливают на растворе по двум сторонам трещины так, чтобы иглы 1, 2, 3, 4 расположились примерно на одной прямой, а иглы 5, 6, 7, 8 – на другой прямой, параллельной первой.

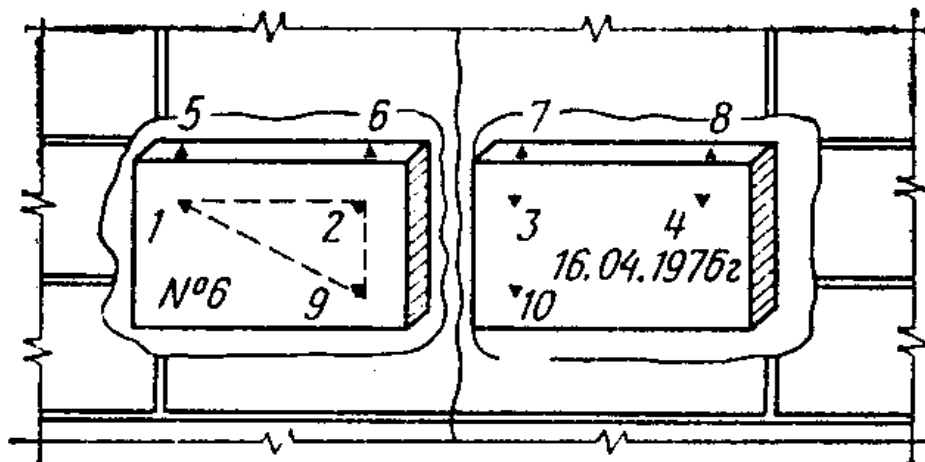


Рис. 113. Маяк игольчатый конструкции Ф.А.Белякова

Процесс наблюдения за трещиной заключается в периодическом прикладывании к иглам чистого листа бумаги, прикрепленного к куску фанеры. После надавливания на фанеру на листе остаются наколы, расстояние между которыми измеряют с помощью циркуля и поперечного масштаба. В результате этого могут быть получены:

- приращения ширины трещины между иглами 6–7, 2–3 и 9–10 (смещение по оси x);
- продольное смещение сторон трещины путем засечки игл 3 и 10 с базиса игл 2–9 или путем засечки игл 2 и 9 с базиса 3–10 (смещение по оси z);
- взаимное смещение вертикальных плоскостей (по оси y) путем измерения отклонений наколов игл 5–6 и 7–8 от прямой.

Погрешность измерения приращений ширины трещины данным способом составляет 0,2–0,3 мм.

Результаты наблюдений за трещиной наносят на график хода ее раскрытия (рис. 114).

3. Применение деформометров, щелемеров, отсчетного микроскопа

Эти приборы позволяют определять расстояние между марками на конструкциях с точностью 0,01–0,001 мм.

Заслуживает внимания деформометр Гугенбергера, в комплект которого входит инварная линейка для компарирования прибора, шаблон для идентичной установки отверстий марок на строго определенном расстоянии друг от друга и набор марок с предохранительными крышками.

Щелемер В.П.Бомбчинского позволяет, кроме расстояния между марками, определять также превышение между ними.

Для массового измерения ширины трещин можно рекомендовать микроскоп МПБ-2, шкала которого позволяет производить измерения трещин шириной до 6,5 мм.



Рис. 114. График хода раскрытия трещины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует сказать, что приведенными в монографии методами не исчерпываются возможности использования ручных безотражательных дальномеров, электронных тахеометров, цифровых фотокамер, совместимых с компьютером и др.

Обратим внимание на то, что классическими геодезическими методами можно определять деформации инженерных сооружений, медленно протекающие по времени. Учет динамических деформаций, которые проявляются в виде колебаний или периодических движений, ставят определенные проблемы перед геодезическим приборостроением. В целом ряде работ по проблемам геодезического мониторинга деформаций инженерных сооружений отмечается, что наблюдения колебаний инженерных сооружений в последние годы стали неотъемлемой частью геодезических измерений. Для регистрации колебаний (башен, мостов, зданий и т.п.) в геодезической практике уже известны примеры использования специальных следящих систем, лазерных интерферометров, электронных уровней, виброметров, тензометров и т.д.

Темпы развития современной науки ставят перед геодезией качественно новые задачи, связанные с модернизацией вышеуказанных методов и средств

измерений на основе современных спутниковых и компьютерных технологий. В этом направлении в последние годы геодезическая наука имеет ощутимые успехи. Для исследования деформаций инженерных сооружений разработаны специальные «Геодезические Роботы», для производства долговременных и непрерывных наблюдений применяются телесистемы. Использование цифровой фотограмметрии дает возможность контролировать вибрации любых инженерных объектов. Для ведения мониторинга деформаций инженерных сооружений рассматриваются возможности применения GPS – сетей.

К значительным разработкам относится создание дистанционно управляемого серводвигателями моторизованного тахеометра с автоматическим сопровождением движущейся визирной цели (модели TCA 1800, TCR 302, TDA 5005 фирмы Leica и Elta фирмы Trimble), устройство слежения (Laser Tracker), лазерного сканера, оптического датчика положений и др. Поэтому развитие сенсорики и компьютерной техники налагает на современного инженера-геодезиста обязанность тщательного слежения за появлением на рынке новейших измерительных средств.

При разработке новых методик, приборов и систем важное место должно отводиться глубокому изучению природы исследуемого процесса деформации сооружений. Это необходимо для создания достоверной математической модели физических явлений, происходящих в конструкциях сооружений, работающих в условиях постоянных сложных статических и динамических нагрузок.

Наконец, при организации работ по исследованию деформаций инженерных сооружений, необходимо, во-первых, руководствоваться требованиями обеспечения безопасности геодезических измерений. Во-вторых, эти требования должны учитываться при разработке новых методик, приборов, систем, обеспечивающих высокие технологии таких измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баран П.И., Совершенный И.П. Съёмка и картографирование подземных инженерных сетей. – Киев.: Будівельник, –1980. –136 с.
2. Бикташев М. Д. Башенные сооружения. Геодезический анализ осадки, крена и общей устойчивости положения // Учебное пособие для студентов. – М. – Изд-во АСВ. – 2006 – 376 с.
3. Большаков В.Д., Левчук Г.П., Новак В.Е.и др. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. – М.: Недра, –1980. – 781 с.
4. Буш В.В., Калугин В.В., Саар А.И. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа. – М.: Недра, –1985. –216 с.
5. Визиров Ю. В. Наклонное проектирование при определении крена высокого сооружения // Геодезия и картография. – 2006. – №3. – С. 15 – 19.
6. Ганьшин В.Н., Косыков Б.И., Репалов И.М Геодезические работы при реконструкции промышленных предприятий. – М.: Недра, –1990. – 149 с.
7. Гельман Р.Н., Никитин А.В. О стереофотосъемке фасада здания // Геодезия и картография. – 2008. – №1. – С. 29 – 33.
8. Зайцев А.К., Марфенко С.В., Михелев Д.Ш. Геодезические методы исследования деформаций сооружений. М.: Недра, –1991. –272 с.
9. Ключин Е. Б., Киселев М. И., Михелев Д. Ш., Фельдман В. Д. Инженерная геодезия : Учебник для студентов вузов. – 5. испр. изд. – М. : Академия, –2006. – 480 с.
10. Мамонов В. Н. О геодезическом контроле пространственного положения высотных ретрансляционных сооружений // Сборник трудов аспирантов и магистрантов. Технические науки. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2007. – С. 197 – 200.
11. Мамонов В. Н. Некоторые результаты моделирования способа определения крена сооружений башенного типа треугольной формы // «Промышленная безопасность-2008». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. –С. 117–127.
12. Марфенко С.В Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений: Учебное пособие. –М.: Изд-во МГУГиК. –2004, –35 с.
13. Мовсисян Р.А., Таплашвили И.А. Новые приборы и методы для автоматизации измерений осадок сооружений. «Пробл. Астрон. и геод. Тр. 6-го Съезда Всес. Астрон.-геод. о-ва, Ереван, 1975. Геод.», – М., – 1979, – С. 88–89.
14. Мониц В.Ю. Метод спутниковой геодезии для определения размера колеи направляющих кранового пути. Безопас. труда в пром-сти. –2001. –№ 1. – с.46–48.
15. Найденов Д.А. Общность способов определения кренов башенных сооружений геодезическими методами. «Геод. обеспечение стр-ва». –М., –1987, – С. 114-120.
16. Пальшин Н.Н., Юрлов В.И. Искатель подземных коммуникаций (ИК-50). Инф. Сб. / ЦНИИГАиК. – 2002. – № 1. – С.24-25.

17. Пимшин Ю.И., Ямбаев Х.К. О принципах формирования и средствах реализации референтных прямых. // Изв.вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1994. –№ 6. – С. 3-10.
18. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. – М.: Недра, –1980, –248 с.
19. ПБ 03-246-98. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. Госгортехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». –М., 1999. –16 с.
20. РД 11-126-96. Методические рекомендации по организации и осуществлению контроля за обеспечением безопасной эксплуатации зданий и сооружений на подконтрольных металлургических и коксохимических производствах. Безопасность труда в промышленности. –М., –1997, –№5. С.45–49.
21. РД-22-01-97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследование строительных конструкций специализированными организациями). ЦНИИПРОЕКТ-СТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ им. Мельникова. –М., –1997. –23 с.
22. РД 10-138-97. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин. –М., –1997. –38 с.
23. Савиных В.П., Ященко В.Р. и др. Геодезия: Геодезические и фотограмметрические приборы: Справ. пособие. – М.: Недра, –1991. – 429 с.
24. Соустин В.Н. Передача отметок безотражательным дальномером и нивелиром // Геод. и картогр. –2001. –№ 5. –с.15–18.
25. Соустин В. Н., Бызов Ю. Б., Нагибин Е. П. Использование электронного тахеометра при выверке вертикальности колонн // Геод. и картогр.– 2006.– № 1. – С. 41-44.
26. Стебнев В.И. Использование УМК 10/1318 для определения кренов и прогибов высотных сооружений башенного типа // Тр. Казан. гор. астроном. обсерв. – 1989. – №52. – С. 133–139.
27. Уставич Г. А. Определение крена сооружений башенного типа GPS-приемниками и тахеометрами // Геодезия и картография. – 2003. – №9. – С. 15 – 18.
28. Уставич Г. А., Пошивайло Я. Г. О применении неметрических цифровых камер для инженерно-геодезических измерений // Геодезия и картография. – 2005. – №8. – С. 19 – 24.
29. Федоров А. И. Методика и предрасчет точности измерений при профилировании подкрановых рельсовых путей станцией "Профиль ПРП" // Маркшейдерия и недропольз. – 2003. – № 4. – С. 57-58.
30. Шеховцов Г.А., Ильин Б.А. Об оценке точности определения крена высоких сооружений // Промышленное строительство. –1983, –№2. – С. 27–28.
31. Шеховцов Г.А., Кочетов Ф.Г. Из опыта контроля положения рельсов подкрановых путей // Промышленное строительство. –1989, –№ 10. – С. 18–22.

32. Шеховцов Г. А. Оценка точности положения геодезических пунктов. – М: Недра, –1992. – 255 с.

33. Шеховцов Г. А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов // Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, –1999. – 164 с.

34. Шеховцов Г.А. Геодезические методы исследования пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений промышленного предприятия // «Промышленная безопасность-2004». Сб статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2004. – С. 68–74.

35. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П. Новый лазерно-зеркальный способ исследования пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений // «Промышленная безопасность-2006». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2006. – С. 57–61.

36. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П., Евсеев Д.А. Об использовании референтной прямой при геодезическом контроле соосности колонн зданий и сооружений промышленного предприятия // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –М, –2006, –№3. – С. 9–13.

37. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П. Передача отметок с использованием лазерной рулетки //«Промышленная безопасность-2007». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2007. – С. 59–63.

38. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П., Акрицкая И.И. Варианты использования лазерной рулетки при экспертизе зданий и сооружений // «Промышленная безопасность-2007». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2007. – С. 52–58.

39. Шеховцов Г. А., Мамонов В. Н. Графические способы определения крена и скручивания сооружений башенного типа треугольной формы // Межвузовский научно-методический сборник. – Саратов: СГТУ. – 2007. – С. 198–201.

40. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П. Об одновременном дистанционном определении геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана //Межвуз. науч.-метод. сб. Саратов, СГТУ, –2007. С. 202–206.

41. Шеховцов Г. А. Совершенствование геодезических способов исследования пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений промышленного предприятия // Приволжский научный журнал, – 2007, –№2. –С. 28–33.

42. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П., Евсеев Д.А. О непосредственных и дистанционных определениях геометрических параметров пространственного положения строительных конструкций // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –М, –2007, –№3. – С. 70–76.

43. Шеховцов Г. А. Контроль соосности колонн и расстояния между ними лазерно-зеркальным устройством в строящихся и эксплуатируемых зданиях ГЭС // «Промышленная безопасность-2008». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. – С. 131–135.

44. Шеховцов Г. А., Мамонов В. Н. Влияние нестворности теодолита на ошибку определения крена сооружения башенного типа треугольной формы // «Промышленная безопасность-2008». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. – С. 76–82.
45. Шеховцов Г.А., Мамонов В.Н.. Способы контроля пространственного положения сооружений башенного типа треугольной формы: Монография. – Н. Новгород, Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. – 52 с.
46. Шеховцов Г.А., Шеховцова Р.П.. Геодезические работы при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений: Монография. – Н. Новгород, Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. – 60 с.
47. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р.П., Мамонов В. Н. О сокращенном способе контроля вертикальности телерадиобашен треугольной формы // «Промышленная безопасность-2008». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2008. – С. 69–75.
48. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П., Евсеев Д.А. О новых способах геодезической выверки колонн по вертикали // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. М, 2008, №2. С. 81-86.
49. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р.П., Мамонов В. Н. Теоретические основы определения крена и скручивания сооружений башенного типа треугольной формы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –М, –2008, –№3. – С. 39–46.
50. Шеховцов Г.А., Шеховцова Р.П.. Новые способы определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн // «Промышленная безопасность-2009». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2009. – С. 99–106.
51. Шеховцов Г.А., Шеховцова Р.П., Фатеев В.В. Некоторые результаты моделирования новых способов определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн // «Промышленная безопасность-2009». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –2009. – С. 93–98.
52. Ямбаев Х.К. Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве. – М.: Недра, –1986. – 264 с.
53. Anigacz W. Fotogrametria jednoobrazowa w pomiarze ugięć wiązarów dachowych. “Prz. geod.”, –1982, 54, –№11–12, 228–230.
54. Arnold R. Eine neue Technologie für Kranbahn-kontrollmessungen // Vermessungstechnik. – 1989, 37, –N 2. – S. 52–55.
55. Bruckner R., Mordek P., Lichtner W. Graphische Darstellung einer zweidimensionalen Leitreihe. “Z.Vermessungsw.” –1979, 104, –№10, 442-447.
56. Bryś Henryk. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen. Allg. Vermess.-Nachr. 2000. 107. – № 11–12, 391-396.
57. Bujakiewicz A., Majde A., Prządka Z. Photogrammetric measurement of deformations of the industrial halls. “Int. Arch. Photogr. and Remote Sensing. Vol. 25. 15 Congr. Int. Soc. Photogramm. and Remote Sens., Rio de Janeiro, 1984. Pt A 5. Commiss. 5”. S. 1., s. A., 136–140.

58. Bujakiewicz A., Kurczynski Z., Majde A., Preuss R., Prządka Z., Wolniewicz W. Fotogrametryczny pomiar wiazarów dachowych w halach przemysłowych. "Prz. geod.", –1985, 57, –№3, 8–11.

59. Grabowski Ryszard J., Kobrun Andrzej L. Fluchtlinienmethode zur Untersuchung horizontaler Verschiebungen von Tlsperrern – praktische Beurteilung der Genauigkeitmöglichkeiten. Vermessungsw. – 1990. – 115, №9, 372–378.

60. Groten E., Mathes A., Uzel T. Dam monitoring by continuous GPS-observations. Istanbul-94: Ist. Int. Symp. Deform. Turkey, Istanbul, Sept. 5-9, 1994: Abstr. Istanbul, –1994. 51.

61. Janusz W. Wyznaczanie trajektorii ruhu suwnicy i odchytek toru podsuwnicowego ze stanowisk naziemnych // Pr. Inst. Geod. i kartogr. –1994, 41, –N 89. – S.31-45.

62. Meixner Heinz Geodezujne pomiaru deformacji. "Prz. gorn.", –1980, 36, –№11, 540-544, LXII, LXIII, LXIV, LXV.

63. Miller Z. Zastosowanie fotogrametrii do celow inzynierskich. "Prz. bud.", –1987, 59, –№5, 200–203, 231–232.

64. Schaefer W. Photogrammetrische Beobachtung von Bauwerksverformungen. "Markscheidewesen", –1985, 92, –№4, 148–151.

65. Schwarz Willfried Moderne Messverfahren in der Ingenieurgeodasie und ihr praktischer Einsatz. Flächenmanag. Und Bodenordn. –2002. 64, –№2, 87-97.

66. Zimmermann B., Hagen F. Zum Einsatz von Leitungssuchgeräten bei Vermessungsaufgaben. "Vermessungstechnik", –1980, 28, –№5, 154–156.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. Наблюдения за осадками сооружений.....	8
1. Организация наблюдений за осадками.....	8
2. Нивелирование.....	9
3. Обработка результатов нивелирования.....	13
Глава 2. Определение горизонтальных смещений.....	15
1. Створный метод.....	15
2. Метод триангуляции.....	19
Глава 3. Определение крена высоких зданий и сооружений башенного типа.....	20
1. Способ высокоточного нивелирования.....	23
2. Способ вертикального проектирования.....	27
3. Способ горизонтальных углов.....	32
4. Способ направлений.....	34
5. Способ малых углов.....	38
6. Способ координат (засечек).....	41
7. Односторонний способ координат.....	46
8. Определение крена с помощью приборов вертикального проектирования.....	53
Глава 4. Исследование пространственного положения строительных конструкций.....	62
1. Лазерно-зеркальное устройство для дистанционных измерений.....	64
2. Определение расстояния между фермами в середине пролета.....	65
3. Определение расстояний между колоннами в пролёте и в ряду.....	67
4. Определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн.....	69
5. Определение стрелы прогиба конструкций.....	76
6. Геодезическая выверка колонн по вертикали.....	83
7. Контроль соосности колонн зданий и сооружений.....	101
Глава 5. Геодезическая съёмка подкрановых путей.....	107
1. Определение планового положения подкрановых рельсов.....	107
2. Определение ширины колеи подкранового пути.....	111
3. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана.....	120
4. Нивелирование подкрановых рельсов.....	123
5. Передача отметок по вертикали и дополнительные измерения.....	127

Глава 6. Фотограмметрические методы наблюдений за деформациями сооружений	131
1. Фотограмметрический метод.....	133
2. Стереофотограмметрический метод.....	135
Глава 7. Съёмка подземных коммуникаций	138
1. Съёмка коммуникаций, имеющих выводы	138
2. Съёмка коммуникаций, не имеющих выводы.....	142
3. Съёмка неметаллических подземных коммуникаций.....	143
Глава 8. Наблюдения за трещинами несущих конструкций	144
1. Простейшие измерения.....	144
2. Применение маяков.....	145
3. Применение деформометров, щелемеров, отсчетного микроскопа....	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	148
ЛИТЕРАТУРА	150

Геннадий Анатольевич Шеховцов
Раиса Павловна Шеховцова

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Монография

Компьютерная верстка
Г.А.Шеховцов

Подписано в печать _____ Формат 60x90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. ____ . Уч. изд. л. ____ . Тираж 600 экз. Заказ № _____

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

ВЫПИСКА
из протокола №7 заседания кафедры
инженерной геодезии ННГАСУ от 22.06.09 г.

Слушали: сообщение о рукописи монографии Г. А. Шеховцова и Р. П. Шеховцовой «Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений» на предмет ее опубликования в открытой печати.

Постановили: рекомендовать в/у монографию к опубликованию.

Зав. кафедрой инженерной
геодезии ННГАСУ, д.т.н., профессор

Г.А.Шеховцов