

**Г. А. Шеховцов
Р. П. Шеховцова**

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Монография



Нижний Новгород – 2014

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Монография

Нижний Новгород
2014

Шеховцов Г. А. Геодезические работы при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений: монография. Изд. 2, перераб. и доп. / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т,– 2014,–177 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.

Показаны принципы составления проекта специальных геодезических работ по определению деформаций инженерных сооружений и содержание заключения экспертизы промышленной безопасности. Изложены методические аспекты определения деформаций инженерных сооружений и дана классификация геодезических способов их измерения. Приводится методика определения осадок сооружений и обработки получаемых результатов. Описаны методы определения горизонтальных смещений сооружений. Изложены способы определения крена высоких зданий и сооружений башенного типа. Рассмотрены способы определения радиусов сооружений круглой формы. Детально описаны способы исследования пространственного положения строительных конструкций. Изложены методы определения планово-высотного положения рельсов при геодезической съёмке путей мостовых кранов. Описаны способы наблюдения за трещинами несущих конструкций. Особое внимание уделено новым способам определения деформаций с использованием лазерных рулеток и лазерно-зеркального устройства, электронных тахеометров и цифровых камер, совместимых с компьютером, референтных прямых, компьютерных программ и др. Показаны перспективы использования наземных лазерных сканеров в инженерно-геодезическом производстве. Все разделы содержат примеры математической обработки результатов геодезических измерений и их геометрической интерпретации и приведены сведения по допускам на различные виды деформаций, регламентируемые нормативными документами Госгортехнадзора.

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. 15, ил. 140, библиограф. назв. 11.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является вторым изданием ранее опубликованной работы (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, – 61 с.).

Она дополнена сведениями о новых разработанных авторами способах геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений с использованием электронных тахеометров, цифровых фотокамер, совместимых с ПК, референтных прямых, компьютерных программ и др.

В книге авторы стремились изложить на современном уровне теоретические и практические вопросы геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений промышленных предприятий. Предлагаемая вниманию читателя книга представляет собой попытку охватить практически весь комплекс приёмов и способов такого контроля. В ней использован опыт многих научно-исследовательских, проектных и производственных отечественных и зарубежных организаций, а также многолетний личный опыт самих авторов по контролю пространственного положения зданий и сооружений промышленных предприятий, ТЭЦ и других объектов Нижегородской области.

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 инженерных сооружений.

Цель геодезических наблюдений – получить численные данные, характеризующие абсолютные величины 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, расчёт точности измерений, календарный план наблюдений, состав исполнителей, объём 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, такая точность указывается в соответствующих нормативных документах в виде средней квадратической ошибки (СКО). Так, например, согласно ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» 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.

В особых случаях требования к точности геодезических измерений могут быть получены путём специальных расчётов. Здесь можно воспользоваться концепцией перехода от допусков СНиП d к допускам на контрольные геодезические измерения, с последующим определением необходимой средней квадратической ошибки (СКО) m измерения искомого параметра. 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, которая характеризуется величиной t – нормированным множителем, соответствующим определенному значению доверительной вероятности (он изменяется от 1,65 до 3,0). Исходя из этого выведена формула

$$m = \frac{0,4d}{t}. \quad (1)$$

Эта формула является универсальной, поскольку позволяет осуществлять корректный переход от допусков СНиП к СКО геодезических измерений, с учётом степени доверительной оценки точности.

Геодезическая съёмка строительных конструкций, определяющих устойчивость промышленного объекта, выполняется в соответствии с требованиями соответствующих нормативных и руководящих документов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Результаты съёмки оформляются в соответствии СНиП 3.01.03.84 и «Едиными формами геодезической исполнительной документации в строительстве» 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 проведённой 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.

При организации работ по экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений необходимо (при выборе той или иной методики геодезической съёмки) руководствоваться требованиями обеспечения безопасности исполнителей геодезических измерений. Эти требования должны учитываться также при разработке новых методик, приборов, систем, обеспечивающих высокие технологии таких измерений. Этим требованиям и следовали авторы монографии при разработке новых способов геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений.

Глава 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Определение деформаций инженерных сооружений предусматривает выполнение различного вида геодезических измерений. В качестве примера можно привести измерения, выполненные в разное время сотрудниками кафедры инженерной геодезии ННГАСУ при экспертизе промышленной безопасности зданий и сооружений, нашедших своё отражение в наших монографиях [8, 9, 10, 11]. В этих работах также охвачен практически весь комплекс известных из литературных источников основных приёмов и способов контроля пространственного положения инженерных сооружений.

Следует сказать, что в геодезии традиционно все измерения делят на две группы. Первая группа включает «прямые» (ещё 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.

Что касается термина «дистанционные» измерения, то под ним 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.

На основании анализа существующих способов геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений разработана классификация геодезических способов определения деформаций инженерных сооружений (рис. 1).



Рис. 1. Классификация способов определения деформаций инженерных сооружений

Она призвана ориентировать исследователей, во-первых, в широком спектре задач по определению деформаций инженерных сооружений и, во-вторых, в многообразии геодезических способов их решения с целью выбора оптимальных или разработки новых способов.

Все наиболее часто встречающиеся задачи по определению деформаций инженерных сооружений дифференцированы в шесть основных групп: наблюдения за осадками сооружений; определение горизонтальных смещений; определение крена высоких зданий и сооружений башенного типа; исследование пространственного положения строительных конструкций; геодезическая съёмка подкрановых путей; наблюдения за трещинами несущих конструкций. Каждая из перечисленных групп включает не только методы и средства измерений, но и методику обработки результатов полевых измерений, то есть методику выявления деформационных характеристик.

Следует сказать, что практически всем известным способам геодезического контроля пространственного положения инженерных сооружений присущи недостатки, связанные с их зависимостью от застроенности территории, насыщенностью цехов технологическим оборудованием, необходимостью использования мостового крана, выходом наблюдателя на крановый путь или его подъёмом к оголовку колонн и др. Для их устранения авторами монографии были предложены практически в каждой из шести основных групп классификации новые приспособления, дистанционные и фотографические способы, основанные на новейших технологиях использования ручных безотражательных дальномеров, электронных тахеометров, цифровых фотокамер и разработанного на кафедре инженерной геодезии ННГАСУ лазерно-зеркального устройства ЛЗУ.

Глава 2. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

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 путём периодического высокоточного нивелирования осадочных марок, закреплённых на инженерном сооружении.

Для наблюдения за осадками могут быть применены цифровые нивелиры со специальными штрих-кодовыми рейками. Однако необходимо помнить, 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.

Высокоточное геометрическое нивелирование практически полностью решает вопрос определения осадок зданий и сооружений. Однако в стеснён-

ных условиях подвальных, цеховых и других помещений возможность геометрического нивелирования может быть весьма ограничена. Здесь для определения превышений между осадочными марками зданий и сооружений, не испытывающих динамических нагрузок и воздействий, могут применяться переносные гидростатические приборы типа шланговых нивелиров или стационарные гидростатические системы. А на сооружениях, где пребывание человека нежелательно или вообще исключается, необходимы гидросистемы с дистанционным получением информации о высотных перемещениях осадочных марок. Однако применение гидросистем связано со значительными организационными и технологическими трудностями, поэтому случаи их использования единичны.

Что касается тригонометрического нивелирования, то, в настоящее время, в связи с широким внедрением в практику геодезических работ электронных тахеометров, может в корне измениться как сам вид осадочных марок, так и процесс их закрепления и наблюдения за ними. Так, наличие у тахеометра клавиши SDh позволяет сразу определять превышения наблюдаемых точек над точкой стояния прибора. А с помощью клавиши ОНР можно последовательно определять превышения между соседними наблюдаемыми точками, либо между одной из них и всеми остальными. Здесь в качестве осадочной марки может служить обыкновенная горизонтальная черта, закреплённая в любом месте несущей конструкции, обеспечивающем её недоступность и сохранность, причём теперь отпадает надобность в использовании нивелирной рейки, а работу может производить один человек.

2.1. Организация наблюдений за осадками способом геометрического нивелирования

Способ геометрического нивелирования предусматривает периодическое высокоточное нивелирование деформационных (осадочных) марок 1,2,3,...,20 (рис. 2). Для инженерных сооружений осадочные марки закрепляют на несущих колоннах как извне, так и внутри здания через 6 – 12 или 12 – 24 м. Марки размещают по поперечным и продольным осям не менее трех в каждом направлении. На дымовых трубах устанавливают не менее четырех марок по периметру.

В качестве высотной основы служат грунтовые или 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. В качестве высотной основы могут также служить стенные реперы, установленные на несущих конструкциях зданий и сооружений, осадка которых практически стабилизировалась. Месторасположение реперов и осадочных марок регламентируется ГОСТ 24846-81. Наиболее простой и надежной конструкцией марки может служить металлический «уголок», заделанный под некоторым

углом в стену или приваренный к металлической колонне или пластине, прикреплённой к стене. Такая конструкция обеспечивает однозначное положение нивелирной рейки на осадочной марке (рис. 2б).

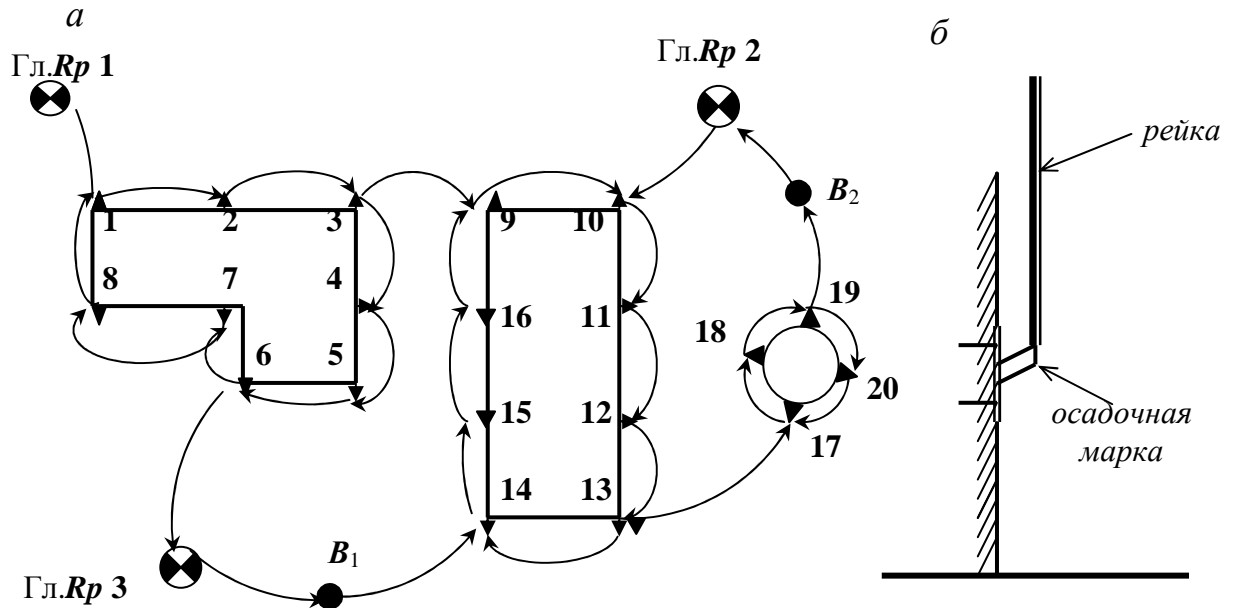


Рис. 2. Схема расположения осадочных марок, нивелирных ходов (а) и конструкция марки (б)

Основные технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики и допуски для геометрического нивелирования (ГОСТ 24846-81)

Условия геометрического нивелирования		Класс точности нивелирования			
		I	II	III	IV
Применяемые нивелиры		Н-05 и равноточные ему		Н-3 и равноточные ему	
Применяемые рейки		РН-05 с инварной полосой		РН-3 шашечная	
Число станций незамкнутого хода, не более		2	3	5	8
Визирный луч	Длина, м, не более	25	40	50	100
	Высота над препятствием, м, не менее	1,0	0,8	0,5	0,3
Неравенство плеч, м, на станции, не более		0,2	0,4	1,0	3,0
Накопление неравенств плеч, м, в замкнутом ходе, не более		1,0	2,0	5,0	10,0
Допустимая невязка в замкнутом ходе, мм, n -число станций		$0,15\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$

При большом расстоянии, например, от Гл.*Rp* 3 до осадочной марки 14 или от Гл.*Rp* 2 до осадочной марки 19 (рис. 2), 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 не более 1–2 мм в год. В дальнейшем наблюдения за осадками фундаментов зданий и сооружений, находящихся в эксплуатации, следует производить в случае появления недопустимых трещин, раскрытия швов, а также резкого изменения условий работы здания или сооружения.

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.

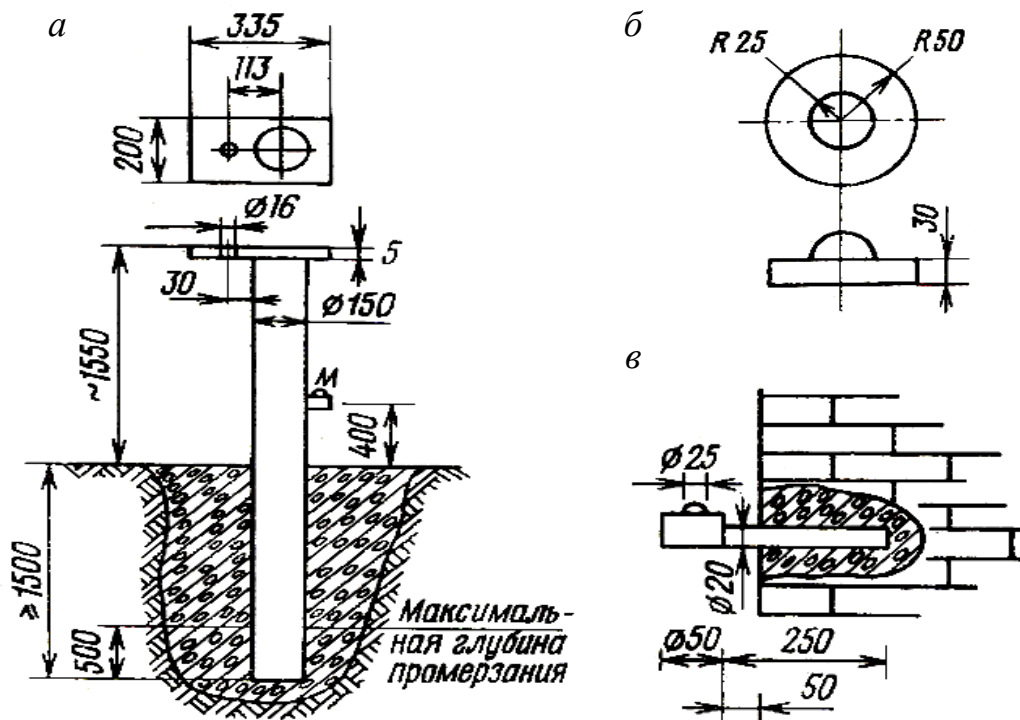


Рис. 3. Конструкция опорного знака (а), осадочной марки (б) и стенного репера (в)

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

Конструкция опорного знака состоит из металлической трубы диаметром 150–200 мм, закладываемой в грунт на 0,5 м ниже глубины промерзания,

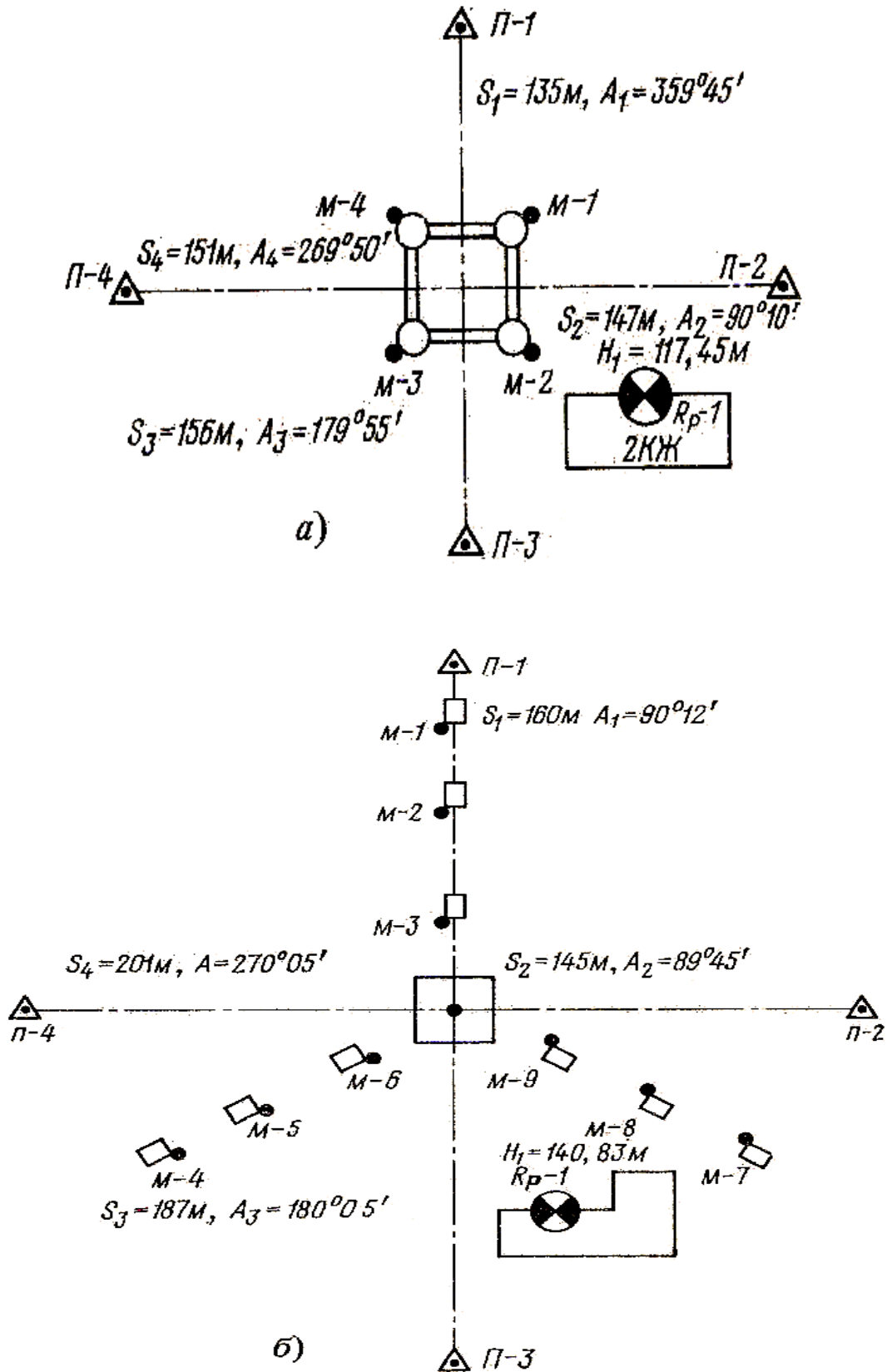


Рис. 4. Пример геодезического плано-высотного обоснования для контроля четырехугольной башни (а) и мачты (б)

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. 3), 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.

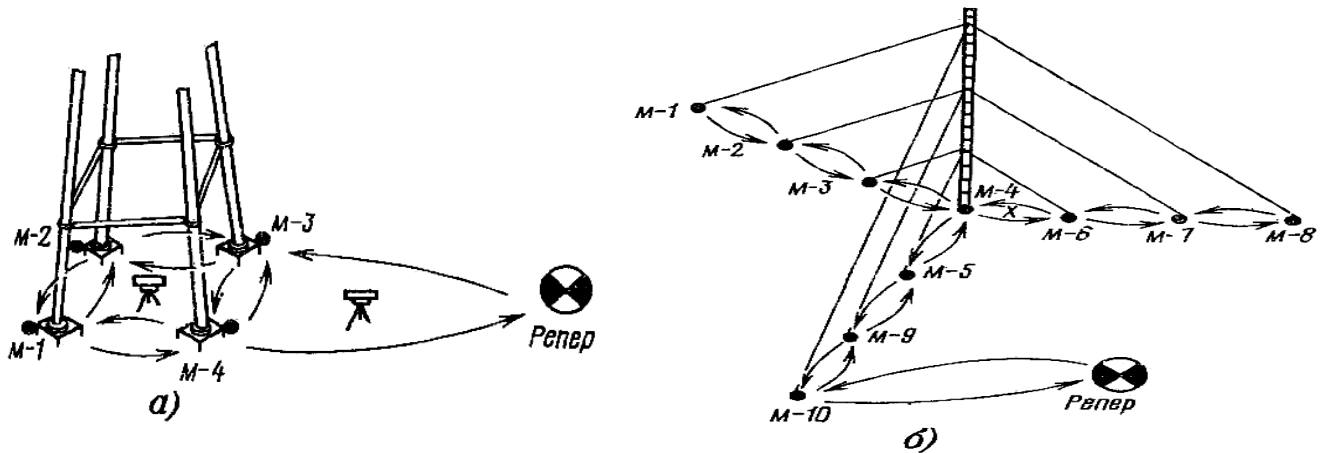


Рис. 5. Схемы нивелирных ходов при контроле осадок фундаментов башни (а), ствола и анкерных фундаментов мачты (б)

Плановые пункты рекомендуется закреплять на расстояниях от 1,3 до 2,0 высот ствола. На рис. 4 приведен пример геодезического обоснования для металлических антенных опор сооружений связи в виде четырехугольной башни и 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 металлических антенных опор радиосредств и радиотелевизионных передающих станций. М., «Радио и связь», –1983. – 43 с.).

На рис. 5 Приведены типовые схемы нивелирных ходов для сооружений башенного типа треугольной, четырёхугольной, круглой формы (а) и мачт (б).

2.2. Нивелирование

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

Принципиальная схема высокоточного оптического нивелира Н-05 аналогична схеме нивелира Н-3. Отличительной особенностью является оп-

тический микрометр, позволяющий производить отсчёты по специальной рейке с высокой точностью (рис. 6).

На штриховой рейке смонтирована инварная полоса (инвар – сплав железа с никелем), на которой через 5 мм нанесены штрихи основной и дополнительной 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 Н-05 приводится в рабочее положение так же, как и нивелир Н-3. Визируют на инварную рейку и элевационным винтом приводят пузырёк 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.

Отсчёт складывается из отсчёта по шкале рейки (283000) и отсчёта по шкале микрометра (452). Аналогичным образом берут отсчёт по дополнительной шкале рейки, совместив барабанчиком 2 изображение средней нити с ближайшим делением этой шкалы.

В нашем примере отсчёт по основной шкале равен 283452, отсчёт по дополнительной шкале 875952. Разность между отсчётами всегда должна равняться постоянному числу 592500. Для того, чтобы полученные отсчёты выразить в миллиметрах, необходимо умножить их на 0,005 мм – цену деления барабана микрометра. Так, отсчет 283452 соответствует 1417,26 мм.

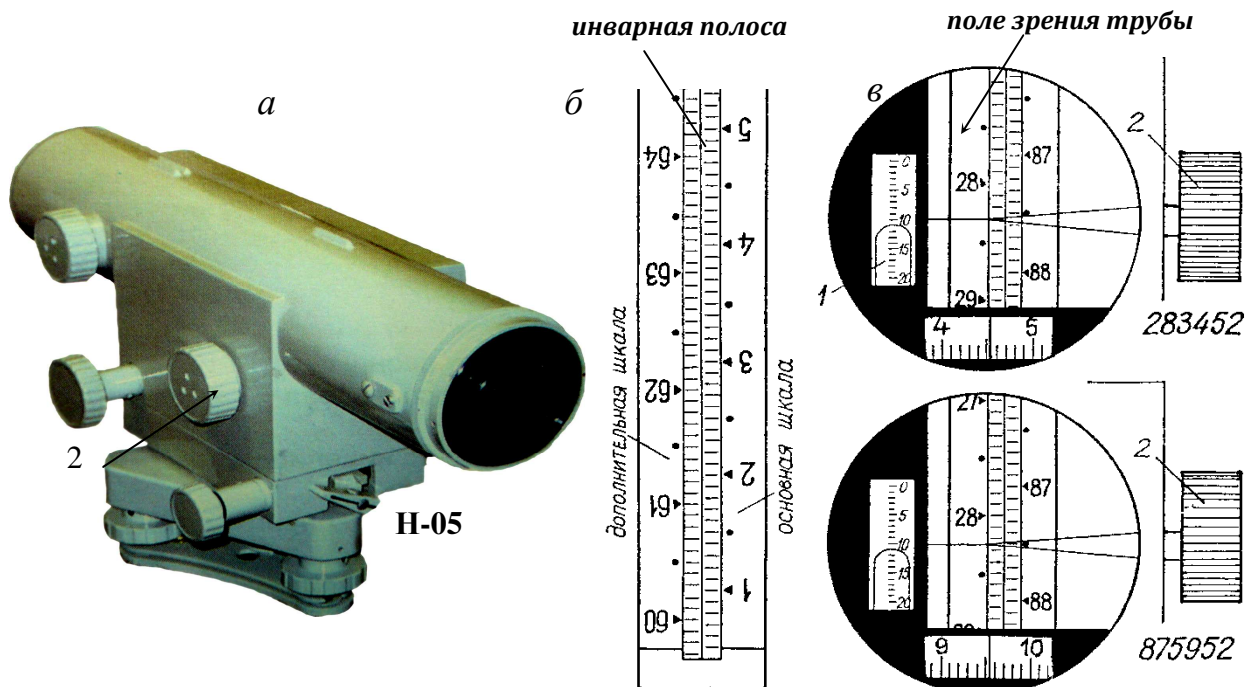


Рис. 6. Высокоточный оптический нивелир Н-05 (а), штриховая инварная рейка (б) и поле зрения трубы нивелира (в)

Аналогами нивелира Н-05 служат высокоточный нивелир *PL1*, а также высокоточные нивелиры *B1*, *B1C* с микрометричной насадкой *OM1*, для работы с которыми используется инварная рейка с сантиметровыми делениями (рис. 7).



Рис. 7. Высокоточные оптические нивелиры *PL1*, *B1*, *B1C*

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 желобчатую рулетку с миллиметровыми делениями. 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. 8а). Сцепление упора с маркой позволяет осуществлять натяжение рулетки, приведение её в отвесное положение и, при необходимости, подсветку её шкалы, по которой берут отсчёты с точностью 0,1мм. Если осадочные марки расположены достаточно высоко (рис. 8б), используют рулетку в подвешенном состоянии.

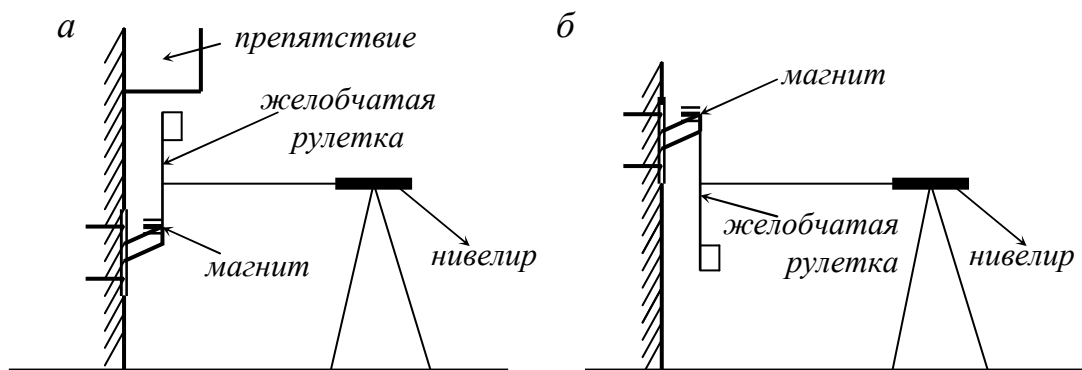


Рис. 8. Схема нивелирования с помощью желобчатой рулетки

Как отмечалось выше, для наблюдения за осадками могут быть применены цифровые нивелиры со специальными штрих-кодовыми рейками.

Отличительной особенностью таких приборов является автоматическое считывание отсчёта 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.



Рис. 9. Цифровые нивелиры серии *SDL* (а) и *DiNi* (б)

Из современных цифровых нивелиров назовём приборы серии *SDL* и *DiNi* (рис. 9). Для работы с нивелирами *SDL* 30/50 используются фиброоптические, 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.

2.3. Обработка результатов нивелирования

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

При производстве наблюдений следует придерживаться концепции, которая заключается в том, что в каждом конкретном случае необходимо указывать наименьшие величины тех или иных видов деформаций, которые в процессе наблюдений необходимо фиксировать с заданной степенью достоверности t .

Напомним, что t является нормированным множителем, соответствующим определенному значению доверительной вероятности. В геодезии наиболее употребительны его значения от 1,60 до 3,0, что соответствует вероятности от 0,890 до 0,997. Исходя из этого следует обосновывать требования к необходимой точности определения отметок осадочных марок.

2.3.1. Осадка сооружений

Абсолютная осадка S_i отдельной марки будет $S_i = H_i - H_1$, где H_i и H_1 – отметки марки в i -ом и первом циклах наблюдений. При равноточных определениях отметок осадочной марки в каждом цикле её среднюю квадратическую ошибку m_H (далее – СКО) можно определить из выражения (2)

$$m_H \leq \frac{S_{min}}{t\sqrt{2}}, \quad (2)$$

откуда следует, что для получения с заданной степенью вероятности t данных об осадках сооружения необходимо, чтобы СКО определения отметок осадочных марок m_H не превышала $\frac{1}{t\sqrt{2}}$ минимальной величины осадок S_{min} .

Для сооружений, как известно, наиболее опасны неравномерные осадки. Так, если S_1 – осадка одной марки, а S_2 – осадка другой (за одинаковый период времени), то неравномерность осадок $S_1 - S_2 = \Delta$. В этом случае СКО m_H определяется из выражения (3):

$$m_H \leq \frac{\Delta_{min}}{2t}. \quad (3)$$

Таким образом, для получения с заданной степенью вероятности данных о неравномерности осадок необходимо, чтобы СКО m_H определения отметок осадочных марок не превышала $\frac{1}{2t}$ минимальной величины неравномерности Δ_{min} .

2.3.2. Скорость протекания осадки

Известно, что за строительный период протекает около 50% осадки сооружений на глинистых грунтах и 80% на песчаных грунтах. Причём заметных деформаций сооружения не будет, если скорость изменения напряжений в элементах его конструкций равна или больше скорости развития осадки фундамента. Поэтому правильное представление о состоянии сооружения можно получить зная скорость развития осадки его фундамента во времени.

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

Для получения с заданной степенью вероятности данных о скорости протекания осадки сооружения необходимо, чтобы СКО m_H определения отметок осадочных марок не превышала $\frac{T}{t\sqrt{2}}$ минимальной величины этой скорости V_{min} :

$$m_H \leq \frac{T}{t\sqrt{2}} V_{min}. \quad (4)$$

2.3.3. Крен сооружения

Крен возникает от неравномерности осадок фундамента, в результате чего сооружение наклоняется в одну сторону. Он характеризуется величиной K относительного крена $K = \Delta/L$, где Δ – разность осадок крайних марок по оси сооружения, L – расстояние между этими марками.

Для получения с заданной степенью вероятности данных о крене сооружения необходимо, чтобы СКО m_H определения отметок осадочных марок не превышала $\frac{L}{2t}$ минимальной величины крена K_{min} :

$$m_H \leq \frac{L}{2t} K_{min}. \quad (5)$$

Считается, что если величина крена не превышает 0,001, то прочность и устойчивость несущих конструкций абсолютно жестких и относительно жестких типов сооружений не нарушается и они эксплуатируются нормально. Примем $K_{min} = 0,001$, тогда при $L = 5$ м и $t = 2$ (чему соответствует вероятность 0,95) получим необходимую точность определения отметок осадочных марок $m_H = 1,25$ мм.

2.3.4. Прогиб (перегиб) сооружения

Он возникает в результате неравномерности осадок фундамента, отчего сооружение изгибается выпуклостью вниз или вверх. Этот изгиб характери-

зуется величиной f относительного прогиба (перегиба) $f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2L}$, где S_1 и S_3 – осадки крайних марок рассматриваемого участка прямой линии; S_2 – осадка средней марки участка; L – расстояние между крайними марками.

Если осадки марок определены равноточно, а расстояние между ними измерено безошибочно, то СКО m_H определения отметок осадочных марок не должна превышать $\frac{L}{t\sqrt{3}}$ минимальной величины прогиба (перегиба) f_{min} :

$$m_H \leq \frac{L}{t\sqrt{3}} f_{min}. \quad (6)$$

Принято считать, что период стабилизации положения крупных гражданских и промышленных сооружений наступает, когда скорость их осадки не превышает 1–2 мм/год. Чтобы с вероятностью, например, 0,95 ($t = 2,0$) судить о наступлении такого периода, следует отметки осадочных марок определять со средней квадратической ошибкой 0,35 – 0,70 мм (при наблюдениях не чаще одного раза в год).

2.3.5. Модуль деформации

Он играет важную роль при расчёте осадок фундаментов сооружений. Числовые значения его определяются в основном путём компрессионных испытаний образцов грунта. При этом возможны большие погрешности при определении модуля, вследствие чего рассчитанные осадки в 1,5–2 раза, а в отдельных случаях и более, превышают фактические. Целесообразно действительные модули деформации грунтов уточнять на основе фактических замеров осадок сооружений. Такое уточнение можно производить следующим образом.

Предположим, что осадка в расчётном методе есть функция от модуля E деформации, размеров сооружения в плане a и b , величины нагрузки p на основание, то есть $S = F_1(E, a, b, p)$. В свою очередь можно представить $E = F_2(S, a, b, p)$. Если принять значения a , b и p безошибочными, то СКО m_E можно определить из выражения (7):

$$m_H \leq \frac{m_E}{\sqrt{2} \left(\frac{\partial F_2}{\partial S} \right)}, \quad (7)$$

то есть можно установить, с какой точностью следует определять отметки осадочных марок, чтобы ошибка определения E по этим данным не превысила заданной величины m_E .

В табл. 2 приведены соотношения между средней квадратической ошибкой определения отметок осадочных марок и наименьшими значениями осадок и деформаций сооружений.

Т а б л и ц а 2

Соотношения между m_H и минимальными значениями деформаций для различных t

t	Вероятность	$\frac{m_H}{S_{min}}$	$\frac{m_H}{\Delta_{min}}$	$\frac{m_H}{LK_{min}}$	$\frac{m_H}{Lf_{min}}$	$\frac{m_H}{TV_{min}}$
1,6	0,890	0,442	0,312	0,312	0,361	0,442
2,0	0,955	0,353	0,250	0,250	0,289	0,353
2,5	0,988	0,282	0,200	0,200	0,231	0,282
3,0	0,997	0,235	0,167	0,167	0,192	0,235

Из таблицы видно, что если, например, в результате наблюдений требуется определять с вероятностью 0,988 осадки и деформации сооружений, то в этом случае m_H должна быть не более $0,282S_{min}$, $0,200\Delta_{min}$, $0,200LK_{min}$, $0,231Lf_{min}$ и $0,282TV_{min}$. За окончательное значение m_H следует принимать её наименьшее значение, полученное по приведенным формулам. Зная же m_H нетрудно выбрать соответствующую методику геодезических наблюдений, обеспечивающую заданную точность.

2.3.6. Графики осадок марок

Их строят по результатам наблюдений в каждом цикле (рис. 10). По этим графикам можно судить, например, о примерном времени стабилизации сооружения.

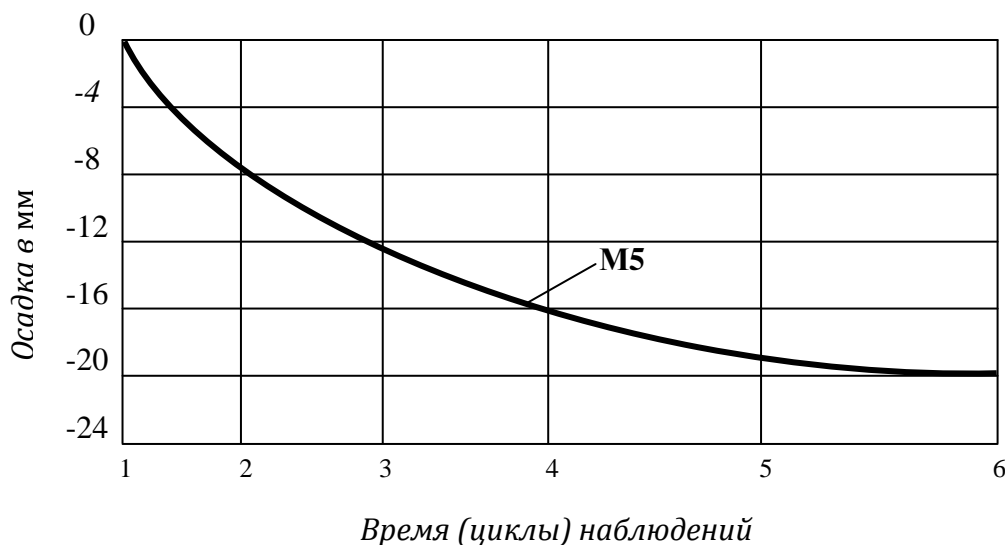


Рис. 10. График осадок марки М5 во времени

2.4. Определение крена высоких сооружений по осадкам их фундамента

Крен здания или сооружения по любому выбранному направлению можно определять по результатам наблюдений за осадочными марками, закрепленными на фундаменте или цокольной части сооружения.

2.4.1. Определение крена здания

Крен здания по выбранному направлению может быть выражен двумя составляющими: вертикальной и горизонтальной (рис. 11).

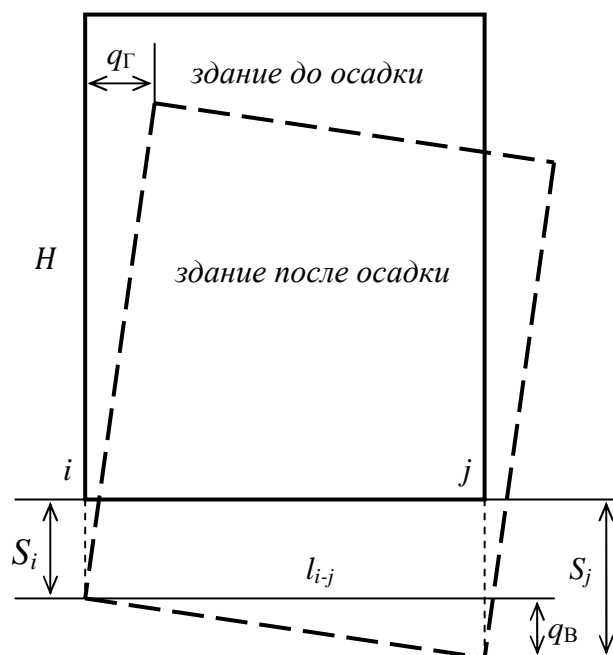


Рис. 11. Определение крена по результатам нивелирования точек на фундаменте сооружения

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. 12).

2.4.2. Определение крена дымовой трубы

Наблюдения за креном трубы и осадками её фундамента в первые два года эксплуатации должны проводиться 2 раза в год и в дальнейшем один раз в год. При стабилизации осадок (не более 1 мм в год) измерения производят

один раз в 5 лет. Предельные отклонения промышленных труб не должны превышать значений, приведенных в табл. 3 [6].

Т а б л и ц а 3

Предельные отклонения промышленных труб

Вид конструкции ствола трубы	Высота трубы, м	Предельно допустимое отклонение верха трубы, мм
Металлические трубы	20	60
	40	120
	60	180
	80	240
	100	300
	120	360
Кирпичные, железобетонные и неметаллические трубы	20	140
	40	280
	60	420
	80	550
	100	650
	120	680
	150	700
	200	700
	250	700
300	700	

Для осуществления способа определения крена дымовой трубы по осадкам её фундамента должны быть установлены в цоколе трубы не менее четырех осадочных марок М-1, 2, 3, 4 (рис. 12). Для определения величины и направления крена можно применить простой и наглядный способ, который заключается в следующем.

После измерения осадок в очередном цикле, на схеме расположения осадочных марок сооружения проводят линии равных осадок (рис. 12) и по максимальной разности осадок вычисляют значение прироста крена ΔK по формуле:

$$\Delta K = \frac{\Delta S H}{D}, \quad (8)$$

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

Направление прироста крена перпендикулярно к линиям равных осадок фундамента. Ошибка определения прироста крена данным способом составляет в среднем 1 см при определении разности осадок с точностью 1 мм.

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.

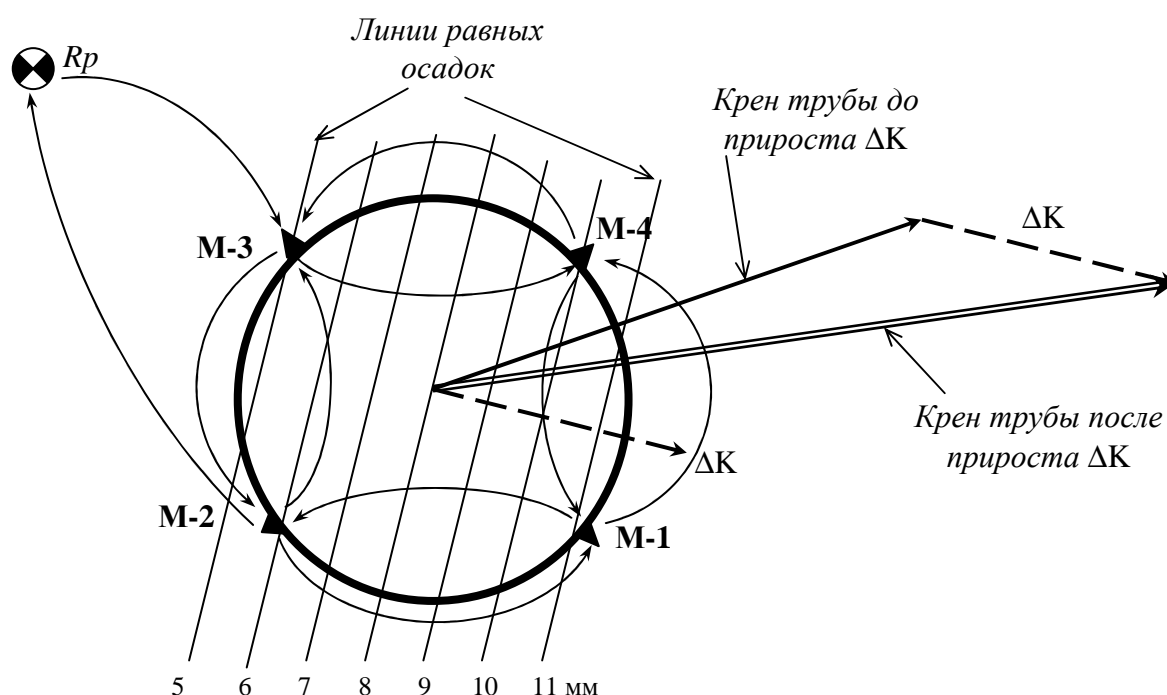


Рис. 12. Определение направления и прироста крена трубы по осадкам её фундамента

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.

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.

В общем виде аналитическое решение поставленной задачи может выглядеть следующим образом. Пусть на плоскости даны три точки с пространственными координатами x , y и z , то есть $M_1(x_1, y_1, z_1)$, $M_2(x_2, y_2, z_2)$ и $M_3(x_3, y_3, z_3)$. Введём два вектора M_3M_1 и M_3M_2 :

$$\begin{aligned} M_3M_1 &= \{x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1\}, \\ M_3M_2 &= \{x_3 - x_2, y_3 - y_2, z_3 - z_2\}, \end{aligned}$$

тогда нормальный вектор к этой плоскости \mathbf{n} будет равен:

$$\mathbf{n} = [M_3M_1, M_3M_2] = \{\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2, \mathbf{n}_3\},$$

или в пространственных координатах x, y, z имеем:

$$\mathbf{n}_1 = \begin{vmatrix} y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \\ y_3 - y_2 & z_3 - z_2 \end{vmatrix}, \quad \mathbf{n}_2 = - \begin{vmatrix} x_3 - x_1 & z_3 - z_1 \\ x_3 - x_2 & z_3 - z_2 \end{vmatrix}, \quad \mathbf{n}_3 = \begin{vmatrix} x_3 - x_1 & y_3 - y_1 \\ x_3 - x_2 & y_3 - y_2 \end{vmatrix}. \quad (18)$$

Предположим, что пространственные координаты точек изменились относительно своих первоначальных значений и стали $M'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$, $M'_2(x'_2, y'_2, z'_2)$ и $M'_3(x'_3, y'_3, z'_3)$. По аналогии с предыдущим получим новый нормальный вектор

$$\mathbf{n}' = [M'_3M'_1, M'_3M'_2] = \{\mathbf{n}'_1, \mathbf{n}'_2, \mathbf{n}'_3\},$$

или в пространственных координатах x, y, z будем иметь:

$$\mathbf{n}'_1 = \begin{vmatrix} y'_3 - y'_1 & z'_3 - z'_1 \\ y'_3 - y'_2 & z'_3 - z'_2 \end{vmatrix}, \quad \mathbf{n}'_2 = - \begin{vmatrix} x'_3 - x'_1 & z'_3 - z'_1 \\ x'_3 - x'_2 & z'_3 - z'_2 \end{vmatrix}, \quad \mathbf{n}'_3 = \begin{vmatrix} x'_3 - x'_1 & y'_3 - y'_1 \\ x'_3 - x'_2 & y'_3 - y'_2 \end{vmatrix}.$$

Теперь можно определить косинус угла γ между нормальными векторами \mathbf{n} и \mathbf{n}' как частное от деления скалярного произведения этих векторов на произведение их модулей:

$$\cos \gamma = \frac{(\mathbf{n}, \mathbf{n}')}{|\mathbf{n}| |\mathbf{n}'|} = \frac{\mathbf{n}_1 \mathbf{n}'_1 + \mathbf{n}_2 \mathbf{n}'_2 + \mathbf{n}_3 \mathbf{n}'_3}{\sqrt{\mathbf{n}_1^2 + \mathbf{n}_2^2 + \mathbf{n}_3^2} \sqrt{\mathbf{n}'_1^2 + \mathbf{n}'_2^2 + \mathbf{n}'_3^2}}. \quad (9)$$

Таким образом, если количество точек равно 3, задача имеет очевидное решение. Однако, если число точек больше, например, 4 (см. рис. 12), то хорошим приближением к идеалу дает метод «средних по тройкам». В этом случае перебираются все сочетания по 3 из имеющихся n точек. Для каждой тройки вычисляются параметры нормального вектора и затем найденные параметры осредняются.

Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Горизонтальные перемещения фундаментов зданий и сооружений можно измерять методами створных наблюдений, отдельных направлений, триангуляцией, трилатерацией и другими линейно-угловыми методами наблюдений. Методика и точность измерений различными методами регламентируется ГОСТ 24846-81.

Крупные сооружения (особенно такие, как дамбы, плотины) под воздействием односторонних нагрузок могут претерпевать вертикальные и горизонтальные смещения. Для определения этих смещений создают внешние и внутренние измерительные сети. Внутренняя сеть может состоять из сети тензометрических датчиков, сети вытянутых треугольников в галереях плотины с использованием для измерений обратного отвеса, инварного или углепластикового жезла. Смещение гребня плотины может выполняться перечисленными выше методами.

3.1. Створный метод

Этот метод (рис. 13) применяют для наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений прямолинейной формы по направлению, перпендикулярному створу.

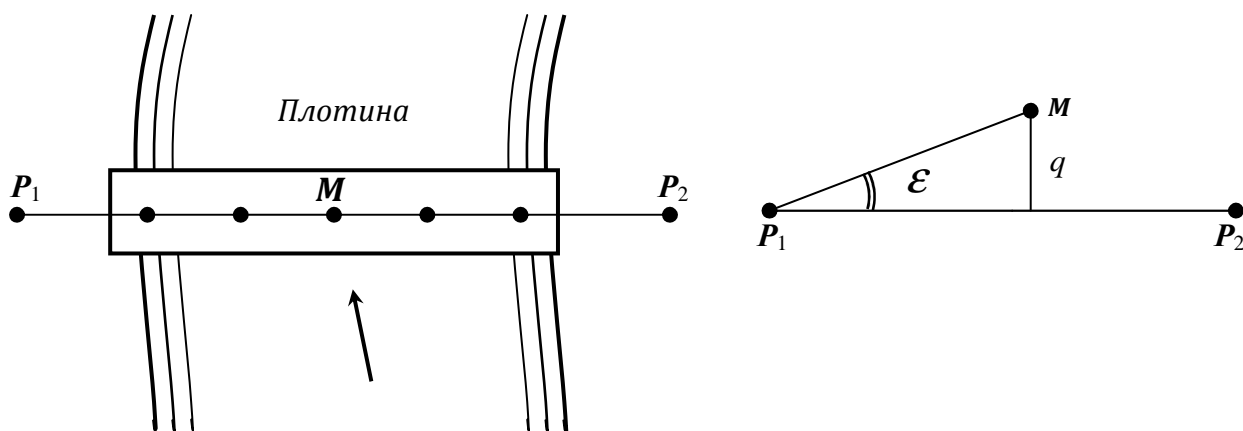


Рис. 3. Створный метод определения горизонтальных смещений

Для этого закрепляют на одной линии концевые опорные знаки P_1 и P_2 и контрольные точки M . Смещения контрольных точек в направлении, перпендикулярном линии P_1P_2 , определяют путём измерения теодолитом малых углов ε на каждую точку. Тогда линейная величина смещения q равна:

$$q = d \frac{\varepsilon}{\rho}, \quad (10)$$

где $\rho = 206265''$ – радиан в секундах.

Другой способ створного метода заключается в том, что на контрольную точку M устанавливают визирную цель (рис. 14), положение которой фиксируется отсчётом по шкале.

Установив теодолит, например, в точке P_1 , ориентируют визирную ось зрительной трубы по линии P_1P_2 и микрометричным винтом визирной цели совмещают её с перекрестием сетки нитей. По разности отсчётов по шкале визирной цели судят о смещении контрольной точки M относительно линии P_1P_2 . Аналогичным образом определяют горизонтальные смещения других контрольных точек.

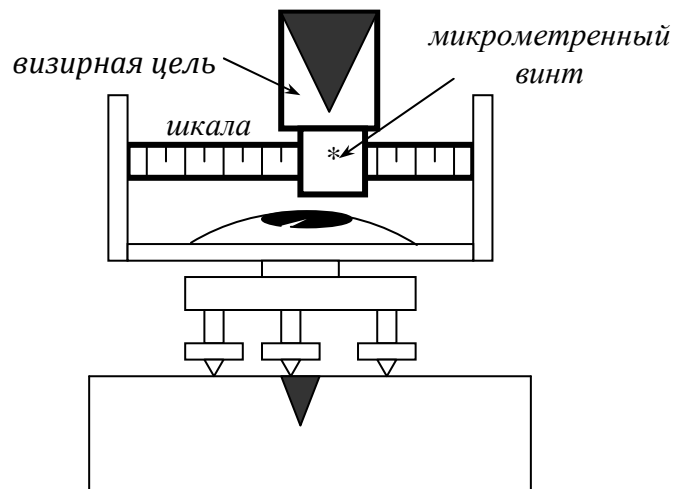


Рис. 14. Определение горизонтальных смещений с помощью визирной цели

Рассмотренные способы носят название способа общего створа. Для створов значительной протяжённости и с большим количеством контрольных точек могут применяться способы последовательных и частных створов. Кроме того, на практике может возникнуть задача восстановления непросматриваемого створа (из-за появившегося препятствия) с целью приведения результатов периодических измерений к единой системе отсчётов. Решение этих задач приведено в нашей работе [11] со ссылкой на соответствующие первоисточники.

3.2. Метод триангуляции и трилатерации

Этот метод (рис. 15) предусматривает периодические определения координат точек 1, 2, 3, ... с геодезических пунктов $A, B, C \dots$ путём измерения в треугольниках всех трёх горизонтальных углов или длин сторон (с использованием высокоточных дальномеров типа DI 2002). Горизонтальные смещения получают как разность координат в i -м и начальном циклах наблюдений.

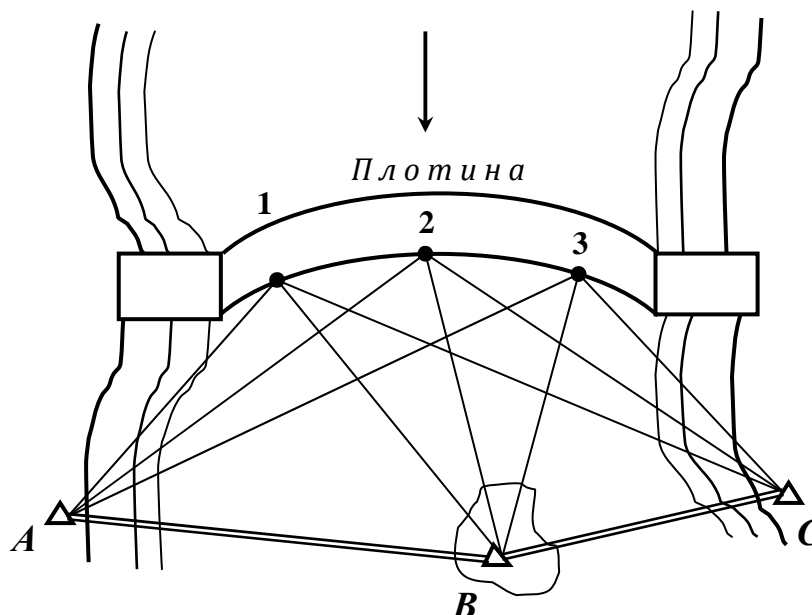


Рис. 15. Определение горизонтальных смещений методом триангуляции или трилатерации

Другие способы определения горизонтальных смещений зданий, сооружений и оборудования промышленных предприятий будут рассмотрены в последующих главах данной монографии.

Глава 4. 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 таких 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 рассмотрен в главе 2); способ вертикального проектирования хорошо заметной верхней точки сооружения на горизонтальную рейку, закрепленную внизу сооружения; способ измерения горизонтальных 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, различные способы использования приборов вертикального проектирования. Известны предложения по использованию наклонномеров, микроинвельриров, маятниковых кренометров, систем видеоизмерения, телевидения, GPS-приемников и электронных тахеометров. Остановимся на наиболее распространенных и новых, разработанных авторами монографии, способах определения крена таких сооружений.

4.1. Способ вертикального проектирования

Под этим способом понимается, во-первых, вертикальное проектирование визирным лучом теодолита хорошо заметной верхней точки сооружения, например, на горизонтальную рейку, закрепленную внизу сооружения. Во-вторых, этот способ может осуществляться с помощью специальных приборов вертикального проектирования.

4.1.1. Способ вертикального проектирования с помощью теодолита

Проектирование в каждом цикле высокорасположенной точки В осуществляется теодолитом с двух опорных пунктов 1 и 2 по двум взаимно перпендикулярным направлениям и при двух положениях вертикального круга теодолита (рис. 16).

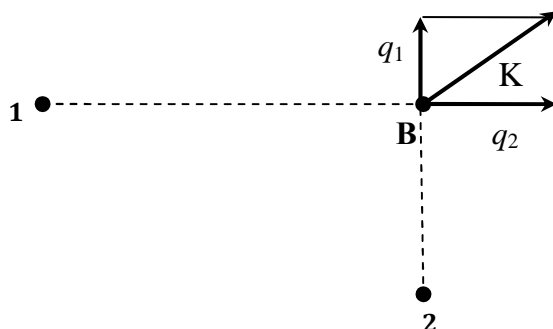


Рис. 16. Схема определения крена способом вертикального проектирования визирным лучом теодолита

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

$$K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2} , \quad (11)$$

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

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

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

Поворачивают трубу на 180° и вновь берут отсчёт по вертикальному кругу. Если отсчёты не равны между собой, то с помощью этих двух подъёмных винтов устанавливают на вертикальном круге средний отсчёт, поворачивают трубу на 180° и проверяют, сохранился ли этот средний отсчёт. Если нет, то действия повторяют, добиваясь равенства показаний вертикального круга. Повернув трубу на 90° , выполняют те же операции с помощью третьего подъёмного винта. Теперь при любой ориентировке зрительной трубы отсчёт 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 пузырёк уровня при трубе в нуль-пункт и отмечают (на стене, рейке, вешке и т. п.) положение перекрестия сетки нитей трубы. Поворачивают трубу на 90° , приводят пузырёк 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 подъёмных винтов совпадения перекрестия сетки с обеими метками.

Покажем методику вертикального проектирования применительно для башен треугольной формы.

Так, линейные смещения q_1 , q_2 и q_3 (рис. 17) 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. 17 смещения q_1 и q_2 положительные, а q_3 – отрицательное.

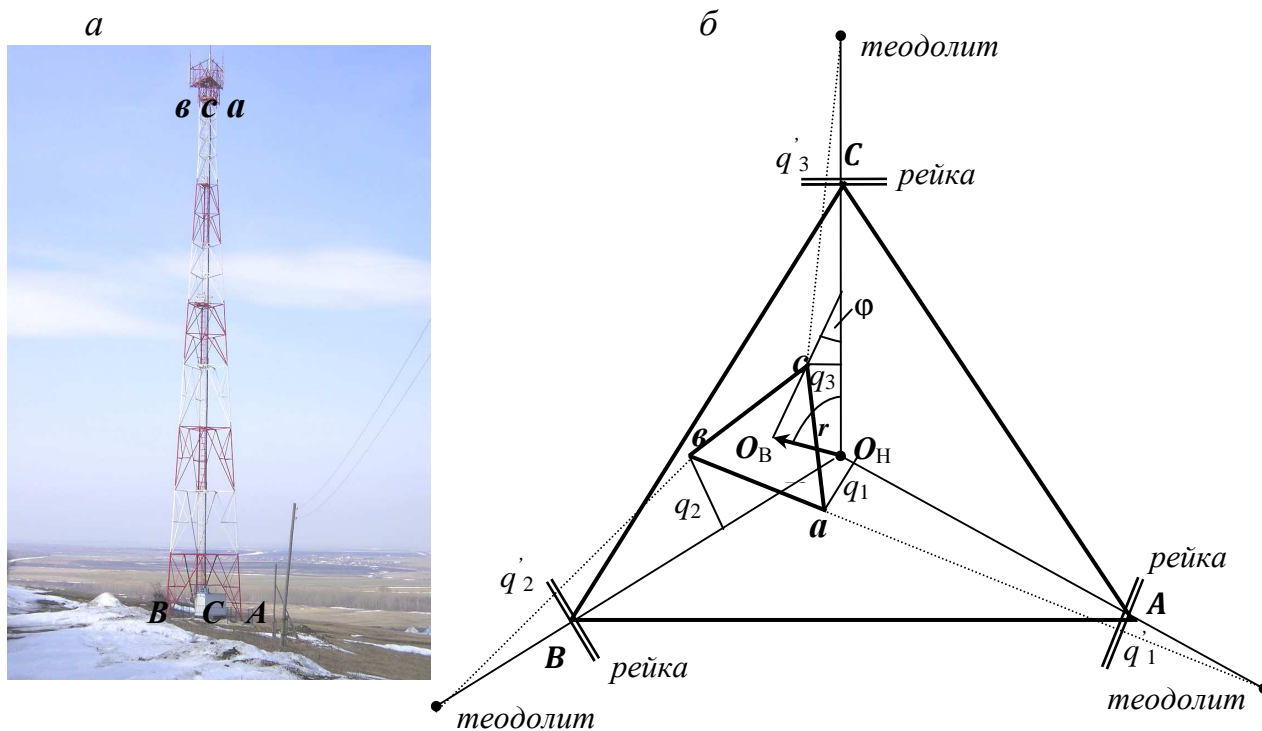


Рис. 17. Башня треугольной формы (а) и схема вертикального проектирования визирным лучом теодолита(б)

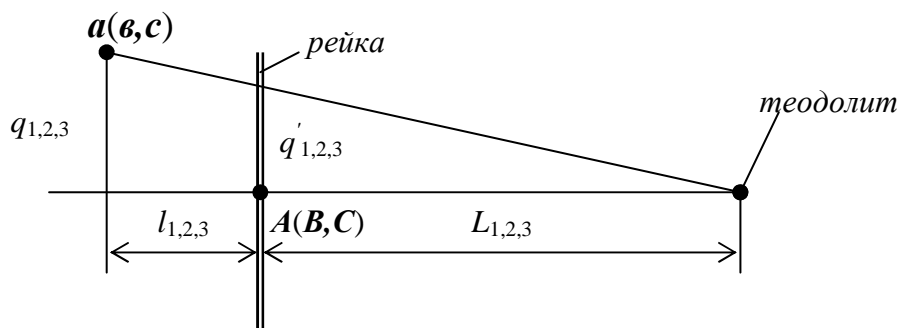


Рис. 18. Схема к определению линейного смещения способом вертикального проектирования

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 avc и нижнего ABC треугольников является углом скручивания башни (рис. 17).

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

$$q = q' \left(1 + \frac{l}{L} \right), \quad (12)$$

подставляя в неё соответствующие значения отсчётов 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. 18).

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. 19) определения величины и направления крена башни треугольной формы заключается в следующем.

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 $XO_H Y$.

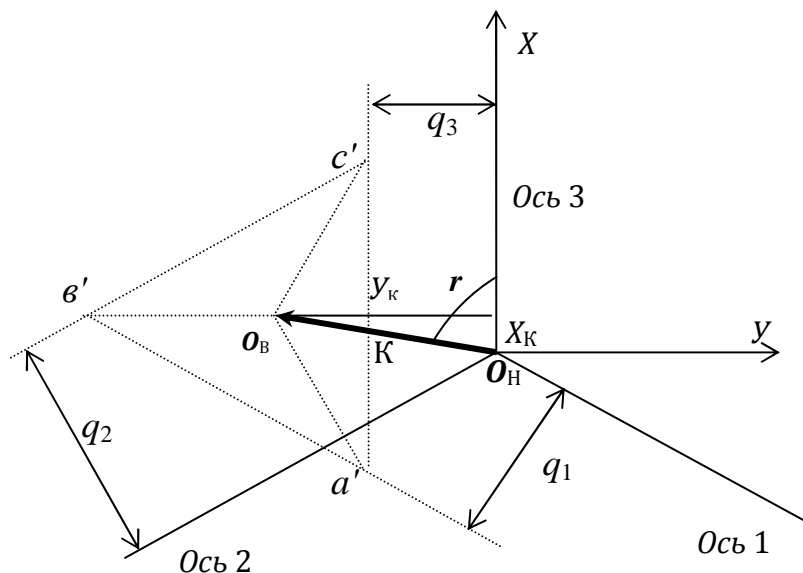


Рис. 19. Графический способ определения величины и направления крена

• **Аналитический способ** основан на использовании упомянутой выше (рис. 19) 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:

$$X_K = \frac{q_2 - q_1}{\sqrt{3}}, \quad Y_K = \frac{-q_1 - q_2 + 2q_3}{3}, \quad (13)$$

$$K = \frac{2}{3} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 - q_1 q_2 - q_1 q_3 - q_2 q_3}, \quad (14)$$

$$\operatorname{tgr} = \frac{Y}{X} = \frac{-q_1 - q_2 + 2q_3}{\sqrt{3}(q_2 - q_1)}, \quad (15)$$

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 её скручивание. При $q_1 = q_2 = q_3 = 0$ нет ни крена, ни скручивания.

В качестве румба r , определяемого по формуле (15), фигурирует острый угол, отсчитываемый от оси OC (рис. 20) в зависимости от знаков числителя и знаменателя этой формулы. Здесь могут встретиться четыре случая.

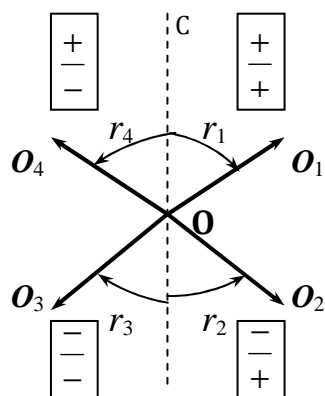


Рис. 20. Направление крена башни

Так, если числитель и знаменатель имеют оба знака «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 . 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. 21).

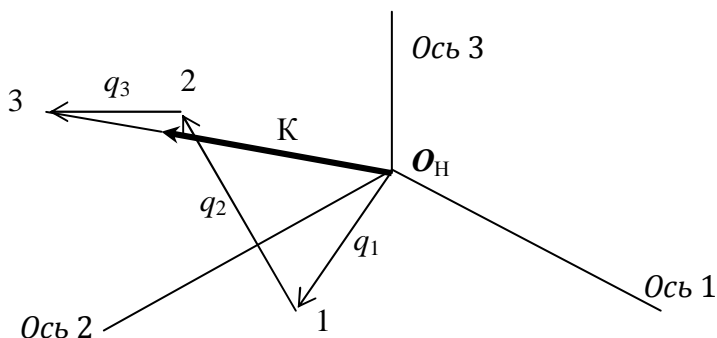


Рис. 21. Определение направления крена путем построения полигона

• **Угол скручивания башни φ** представляет собой угол между соответствующими медианами (рис. 17) или соответствующими сторонами нижнего ABC и верхнего abc треугольников.

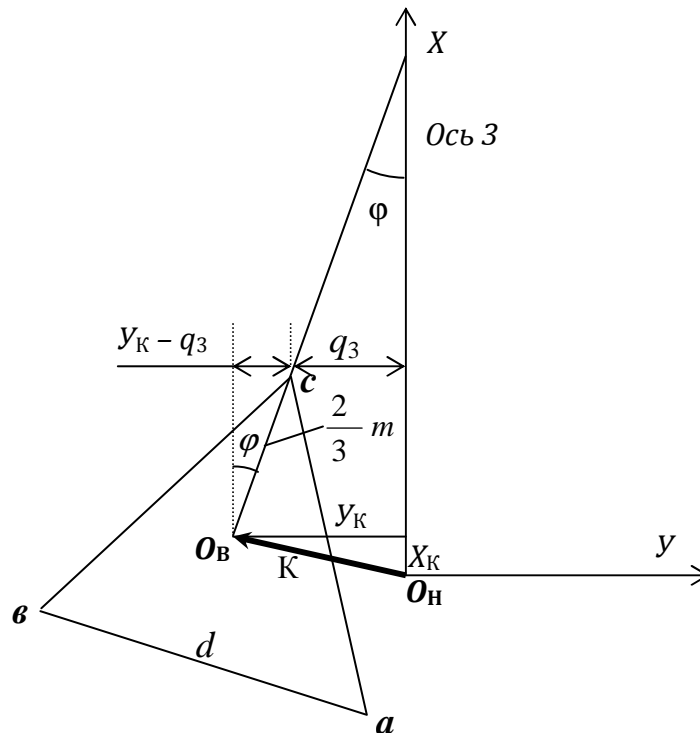


Рис. 22. Схема к определению угла скручивания башни

Угол φ скручивания башни (рис. 22) можно определить из выражения:

$$\sin \varphi = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{d\sqrt{3}}, \quad (16)$$

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

Полученное по формуле (16) положительное значение угла φ означает скручивание башни по часовой стрелке, отрицательное – против часовой стрелки.

4.1.2. 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, AP-

ЛО-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. 23).

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.

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 понизу 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.

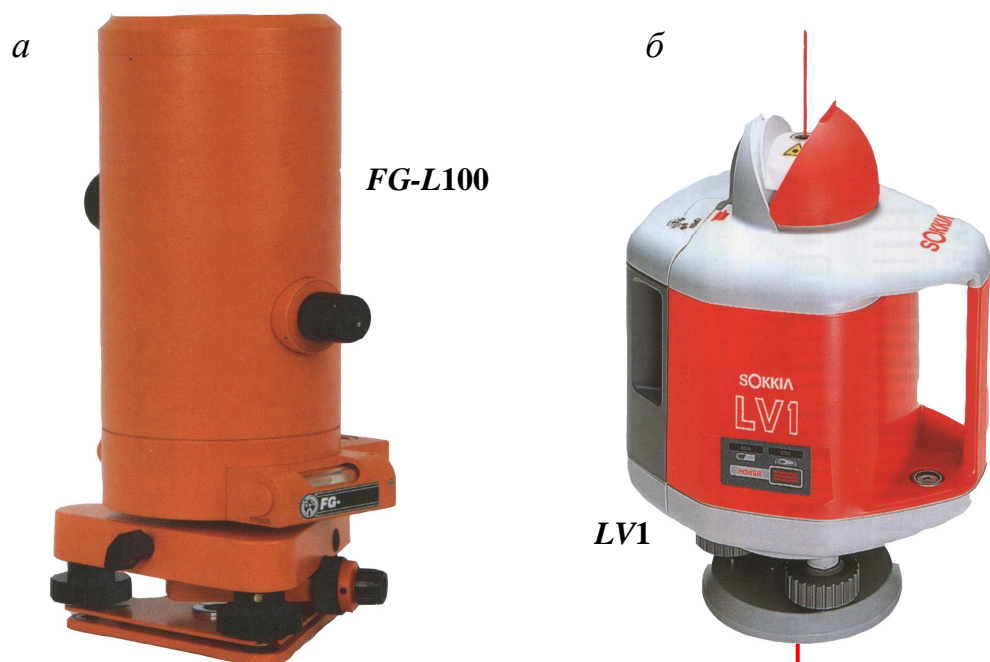


Рис. 23. Приборы вертикального проектирования *FG-L100* (а) и *LV1* (б)

Для установления области расположения опорной точки следует совместить все проектные поперечные сечения башни на различных монтажных горизонтах. Такая операция позволяет выявить искомую область (рис. 24). Такая же область чётко прослеживается на фотографии башни (рис. 25), выполненной с нулевого горизонта, на которой также видны все элементы пространственной конструкции, фидерная лестница, электрокабели и др.

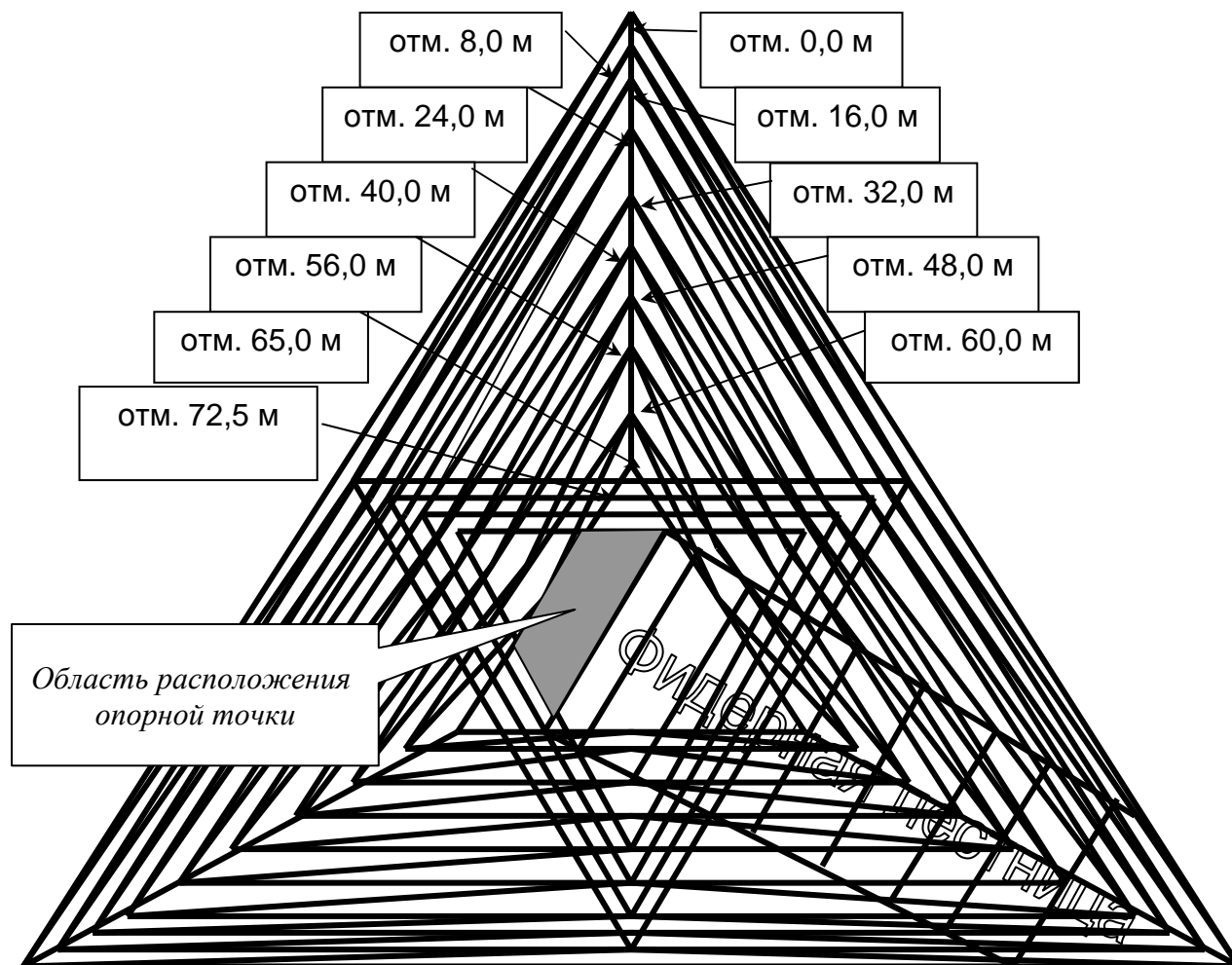


Рис. 24. Совмещённые проектные поперечные сечения башни

От этой точки измеряют расстояния $P'1$, $P'2$, $P'3$ (рис. 26) и сравнивают их с проектными значениями, которые для каждого монтажного горизонта могут быть вычислены по формулам:

$$P'1 = \frac{av}{2\sqrt{3}} - OP, \quad P'2 = P'3 = \frac{1}{2} \left(\frac{av}{\sqrt{3}} + OP \right), \quad (17)$$

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

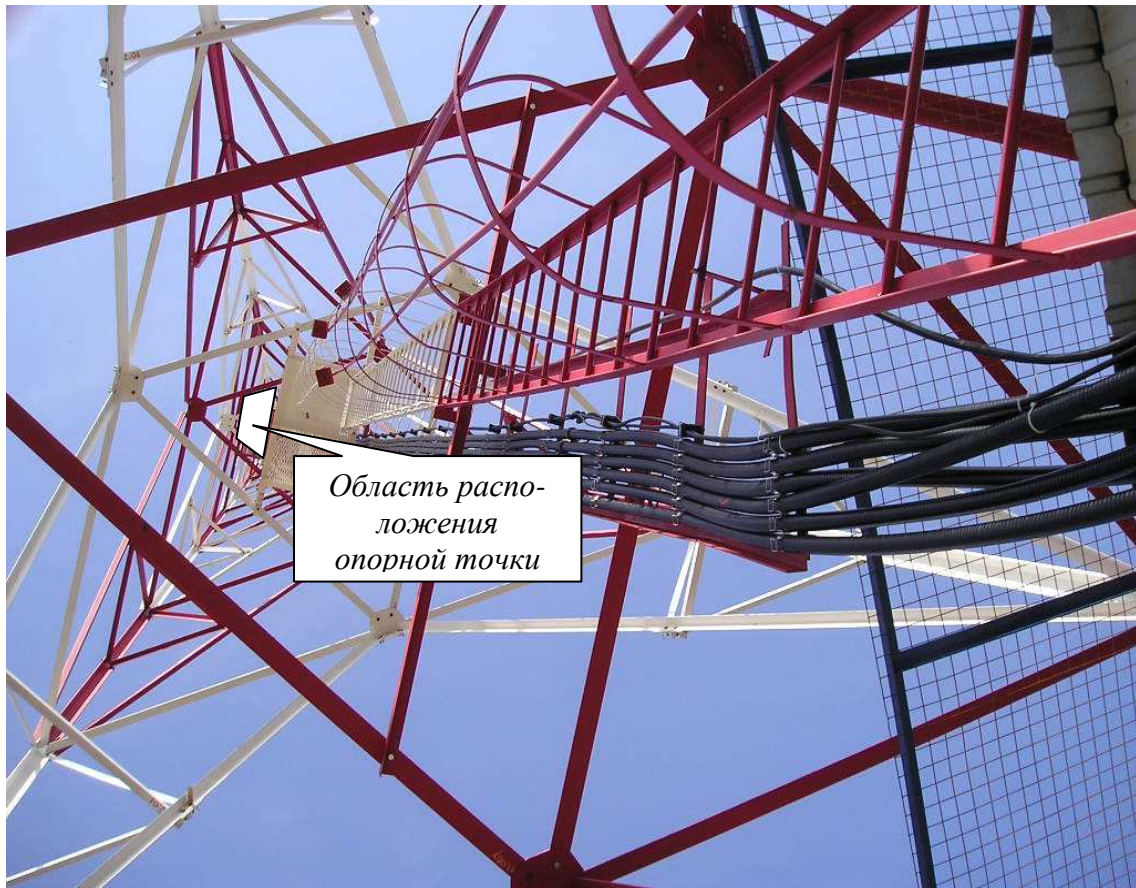


Рис. 25. Фотография башни (вид снизу)

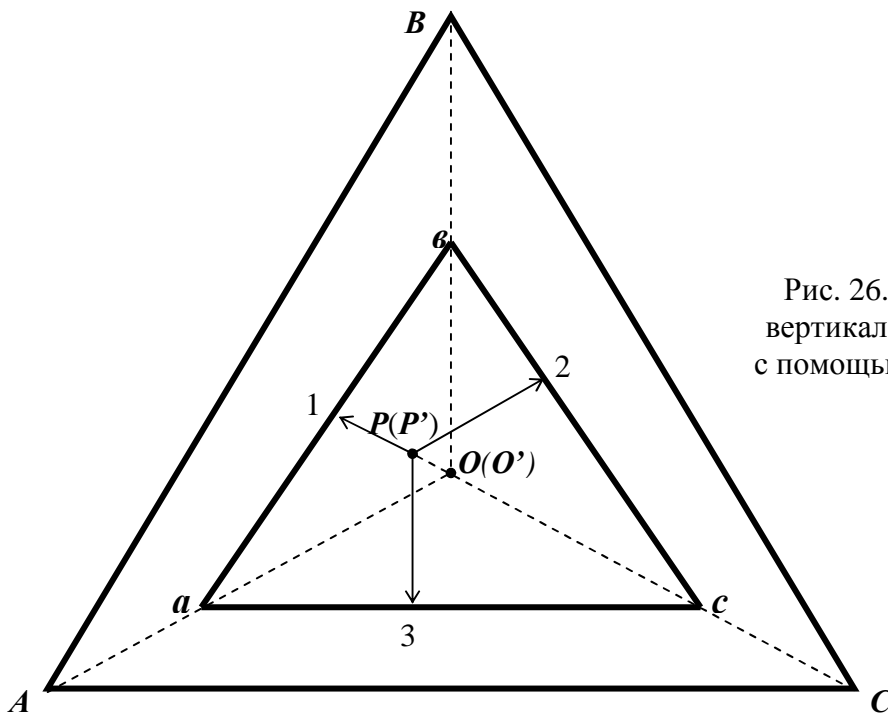


Рис. 26. Схема контроля вертикальности башни с помощью опорной точки P

Точка 1 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:

$$c_2 = c_3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{av}{\sqrt{3}} + OP \right). \quad (18)$$

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

$$P'a = P'v = \sqrt{\frac{(av)^2 - (av)(OP)\sqrt{3}}{3} + (OP)^2}, \quad P'c = \frac{av}{\sqrt{3}} + OP. \quad (19)$$

Вообще говоря, эти расстояния могут быть измерены и без отmarkания точки P' на монтажном горизонте. Для этого достаточно приложить последовательно горизонтально нивелирную рейку своей пяткой к точкам 1, 2, 3 или a, v, c и взять по ней отсчёты по вертикальному визирному лучу или лазерному пучку.

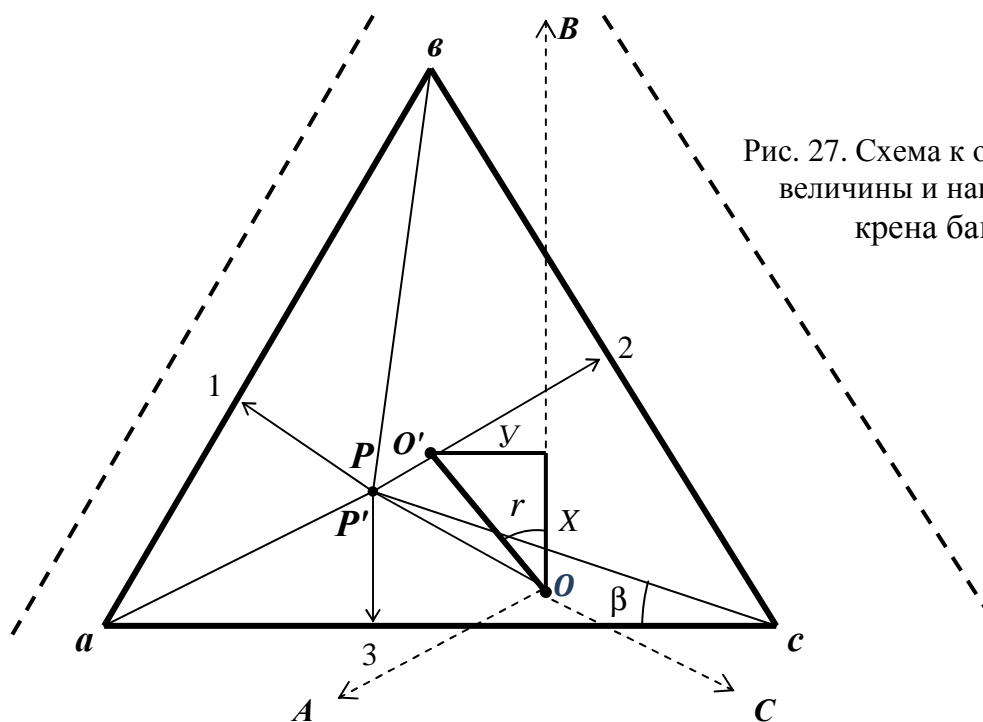


Рис. 27. Схема к определению величины и направления крена башни

Если измеренные расстояния $P'1, P'2, P'3$ или $P'a, P'v, P'c$ не соответствуют их проектным значениям, то имеет место крен башни, то есть ортоцентр O нижнего треугольника ABC и ортоцентр O' треугольника avc монтажного горизонта не находятся на одной вертикали (рис. 27).

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:

$$OO' = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad r = \arctg \frac{Y}{X}. \quad (20)$$

В формулы (20) в качестве X и Y следует подставлять их значения, которые вычисляются следующим образом:

$$X = \frac{OP}{2} + \frac{av}{2\sqrt{3}} - P_3, \quad Y = Pc \cdot \cos \beta - \frac{\sqrt{3}}{2} OP - \frac{av}{2}, \quad \beta = \arcsin \frac{P_3}{Pc}. \quad (21)$$

По формуле (20) 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.

Для одновременного определения величины крена башни, его направления и угла скручивания необходимо иметь, как минимум, две опорных точки P_1 и P_2 (рис. 28). 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.

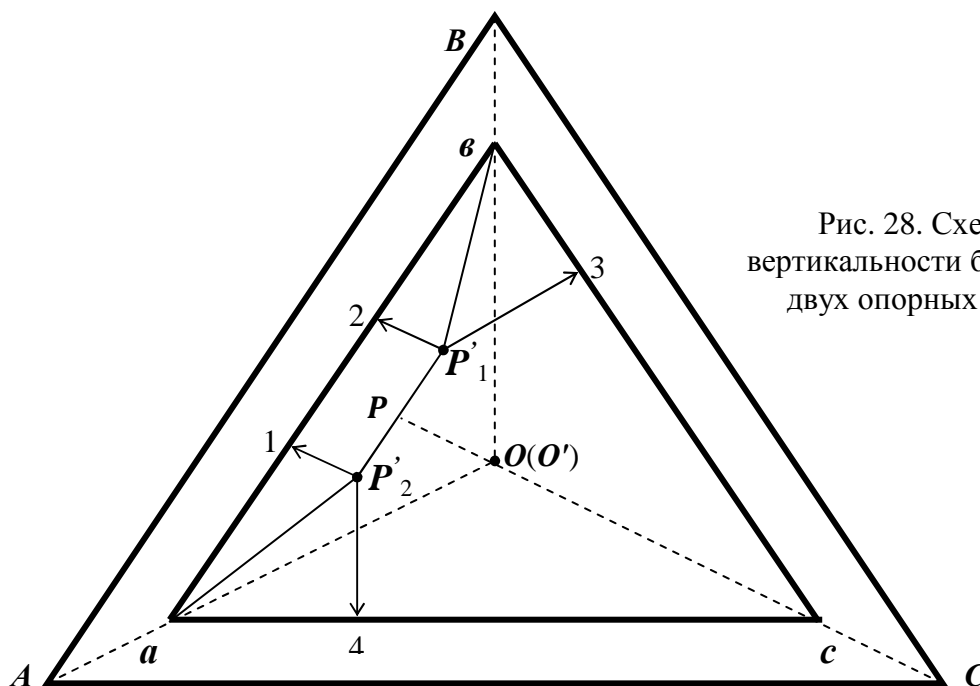


Рис. 28. Схема контроля вертикальности башни с помощью двух опорных точек P_1 и P_2

Проектные расстояния для отдельного монтажного горизонта можно вычислить по формулам:

$$P_1'1 = P_2'2 = \frac{a\epsilon}{2\sqrt{3}} - OP, \quad a1 = \epsilon2 = \frac{a\epsilon - P_1'P_2'}{2},$$

$$P_1'4 = P_2'3 = \frac{a\epsilon}{2\sqrt{3}} + \frac{1}{2}OP - \frac{\sqrt{3}}{4}P_1'P_2', \quad a4 = \epsilon3 = \frac{a\epsilon}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}OP - \frac{P_1'P_2'}{4}, \quad (22)$$

$$P_1'a = P_2'\epsilon = \sqrt{\left(\frac{a\epsilon}{2} - \frac{P_1'P_2'}{2}\right)^2 + \left(\frac{a\epsilon}{2\sqrt{3}} - OP\right)^2}.$$

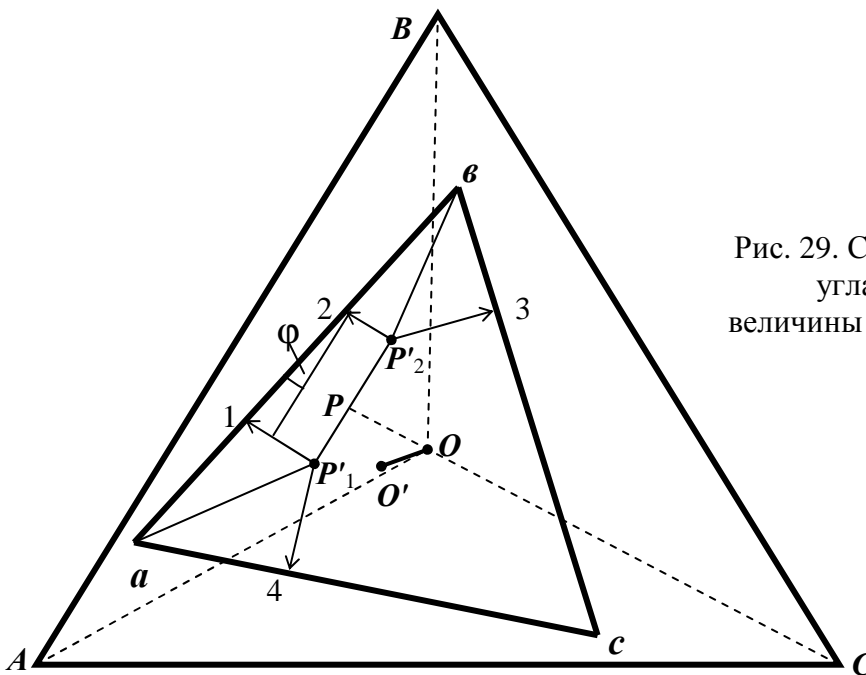


Рис. 29. Схема к определению угла скручивания, величины и направления крена

Если измеряемые расстояния отличаются от их проектных значений, то имеют место скручивание и крен башни (рис. 29). В этом случае угол скручивания φ равен:

$$\varphi = \arcsin \frac{P_1'1 - P_2'2}{P_1'P_2'}, \quad (23)$$

а соотношение отрезков $P_1'1$ и $P_2'2$ укажет направление скручивания: влево или вправо относительно оси OB .

Величину крена и его направление можно определить по формулам (20), в которых в качестве X и Y фигурируют значения, вычисляемые следующим образом:

$$X = \frac{OP}{2} + \frac{a\vartheta}{\sqrt{3}} \cos(60^\circ - \varphi) - \frac{\sqrt{3}}{4} P'_1 P'_2 - P'_1 4 \cos \varphi - c4 \sin \varphi ,$$

$$Y = c4 \cos \varphi - \frac{a\vartheta}{\sqrt{3}} \sin(60^\circ - \varphi) - P'_1 4 \sin \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} OP - \frac{P'_1 P'_2}{4} , \quad (24)$$

$$c4 = a\vartheta - \sqrt{(P'_1 a)^2 - (P'_1 4)^2} .$$

Отметим, что если для сооружений высотой до 100 м с небольшим поперечным сечением круглой формы можно ограничиться одной опорной точкой, то для башен треугольной формы одной опорной точки будет достаточно лишь при условии отсутствия скручивания сооружения в процессе его монтажа. По окончании монтажа башни следует на верхнем горизонте закрепить визирной маркой проекцию P' опорной точки P . В дальнейшем мониторинг изменений крена башни может осуществляться наведением зенит-прибора на эту визирную марку путем перемещения его в горизонтальной плоскости. По изменению проекции P' визирной оси прибора на горизонтальной плоскости относительно опорной точки P можно судить о величине и направлении крена между циклами наблюдений.

Таким образом, наличие двух опорных точек позволяет получать полную информацию о пространственном положении башни. Причем методика измерений может предусматривать закрепление нескольких пар опорных точек с возможно большим расстоянием между ними для нижних ярусов, уменьшаясь до 1,5 м на верхней отметке башни.

Здесь необходимо учитывать влияние солнечного нагрева и ветровой нагрузки и выбирать наиболее благоприятное время для производства измерений..

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 формулой [11]:

$$n = \frac{H}{\rho} \sqrt{\frac{m_H^2 + m_B^2}{m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2}} , \quad (25)$$

где n – количество ступеней проектирования; $m_{\text{ц}}$ – ошибка центрирования зенит-прибора; $m_{\text{ф}}$ – ошибка фиксации проектируемой точки; m_H – ошибка приведения оси зенит-прибора в вертикальное положение; m_B – ошибка визирирования.

Если при расчетах по формуле (25) получается $n \leq 1$, то проектирование рекомендуется производить сквозным методом. При $1 < n < 2$ проектиро-

вание можно осуществлять как сквозным, так и ступенчатым способом. При $n \geq 2$ рекомендуется применять только ступенчатый способ вертикального проектирования.

Следует добавить, что точность выноса опорных точек на монтажные горизонты зависит не только от точности применяемых приборов. При возведении сооружений высотой более 100–150 м атмосферные факторы (солнечный нагрев, ветровые нагрузки и др.) делают невозможным осуществление вертикального проектирования непосредственно с исходного горизонта на всю высоту сооружения. В этом случае применим только способ ступенчатого проектирования, причём оптимальное число ступеней для каждого конкретного случая можно установить по формуле (25).

4.2. Способ горизонтальных углов

Он предусматривает наблюдения верхней точки В сооружения с двух закрепленных на местности опорных точек 1 и 2 в двух взаимно перпендикулярных ($\gamma = 90^\circ$) направлениях (рис. 30).

В первом цикле измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 на точку В. 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:

$$q_1 = \frac{\Delta\beta_1 L_1}{\rho}, \quad q_2 = \frac{\Delta\beta_2 L_2}{\rho}, \quad K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2}, \quad (26)$$

где L_1 и L_2 – горизонтальные расстояния от опорных точек до наблюдаемой точки В, 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.

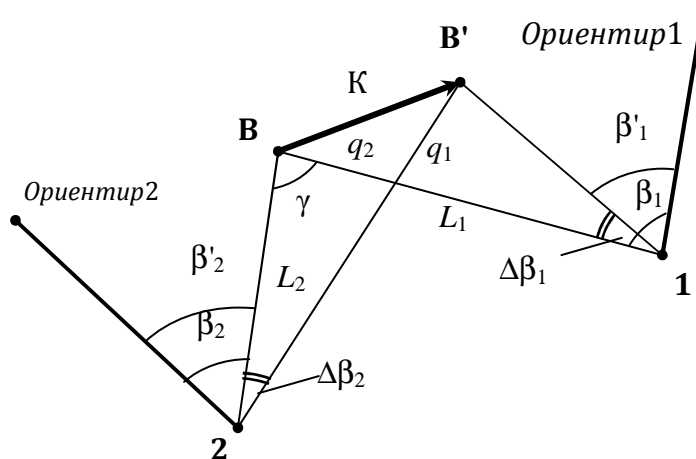


Рис. 30. Схема определения крена способом горизонтальных углов

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

$$K = \frac{1}{\sin\gamma} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 - 2q_1q_2 \cos\gamma} . \quad (27)$$

Если с точек 1 и 2 можно наблюдать верхнюю В и нижнюю Н 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. Таким образом перейдем от способа углов к видоизмененному *способу малых углов*.

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

4.3. Способ малых углов

Рассмотрим этот способ на примере башни треугольной формы.

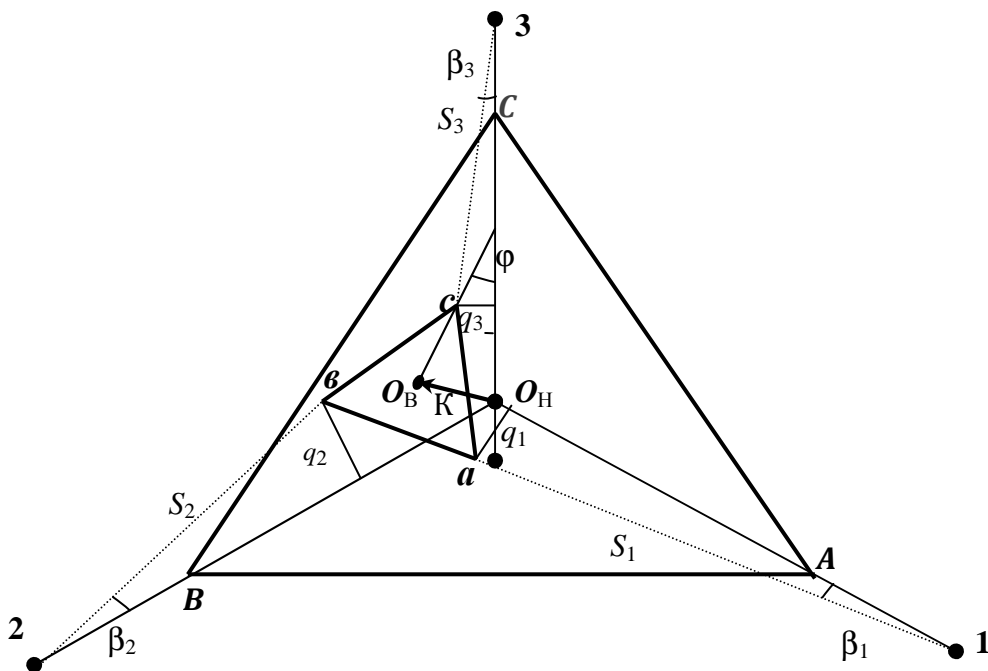


Рис. 31. Схема к определению величины и направления крена башни
(A, B, C и a, b, c – соответственно нижние и верхние точки башни)

Пусть (рис. 31) с точек 1, 2 и 3, расположенных на осях башни на расстояниях S_1, S_2 и S_3 от её 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

$$q_i = \frac{S_i}{\rho} \beta_i, \quad (28)$$

где $\rho = 206265''$, причём, 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. 31 смещения q_1 и q_2 положительные, а q_3 – отрицательное.

Т а б л и ц а 4
Ошибки m_q в зависимости от ошибок измерения расстояний и углов

$S_i, \text{ м}$	$m_q, \text{ мм}$			
	T2	T5	T15	T30
$m_S = 1:100$				
1,0H(70)	1/2	2/3	5/5	10/10
3,0H(210)	2/6	5/8	15/16	30/31
$m_S = 1:200$				
1,0H(70)	1/1	2/2	5/5	10/10
3,0H(210)	2/4	5/6	15/16	30/31
$m_S = 1:300$				
1,0H(70)	1/1	2/2	5/5	10/10
3,0H(210)	2/3	5/6	15/15	30/31
$m_S = 1:500$				
1,0H(70)	1/1	2/2	5/5	10/10
3,0H(210)	2/2	5/5	15/15	30/31
$m_S = 1:1000$				
1,0H(70)	1/1	2/2	5/5	10/10
3,0H(210)	2/2	5/5	15/15	30/31

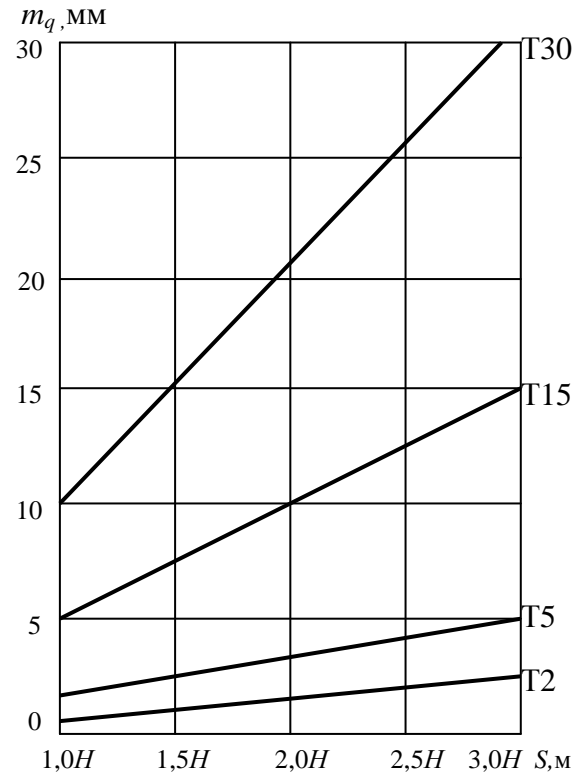


Рис. 32. График зависимости m_q от m_β и m_S при различных β и S

В результате исследований формулы (28) с позиций теории ошибок [10] составлена табл. 4 и построены графики (рис. 32), характеризующие СКО m_q при $m_\beta = 2''$, $5''$, $15''$ и $30''$ и относительных ошибках измерения расстояний 1:100, 1:200, 1:300, 1:500 и 1:1000 для $\beta = 5''$ и $\beta = 600''$. Выбранные ошибки m_β измерения углов соответствуют точности серийно выпускаемых теодолитов T2, T5, T15, T30. В табл. 4 значения m_q в числителе в графах таблицы соответствуют $\beta = 5''$, в знаменателе для $\beta = 600''$.

На основании данных табл. 4 и графиков на рис. 32 можно констатировать, 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.

На практике зачастую ограничиваются наблюдениями на верхние точки a , b , c башни лишь с двух сторон с точек 1, 2, или 2, 3, или 1, 3. В этом

случае, по полученным только двум смещениям можно вычислить по приведенной в [10] методике лишь 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 (v и c , или a и v , или a и c), 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. 31) с осей башни.

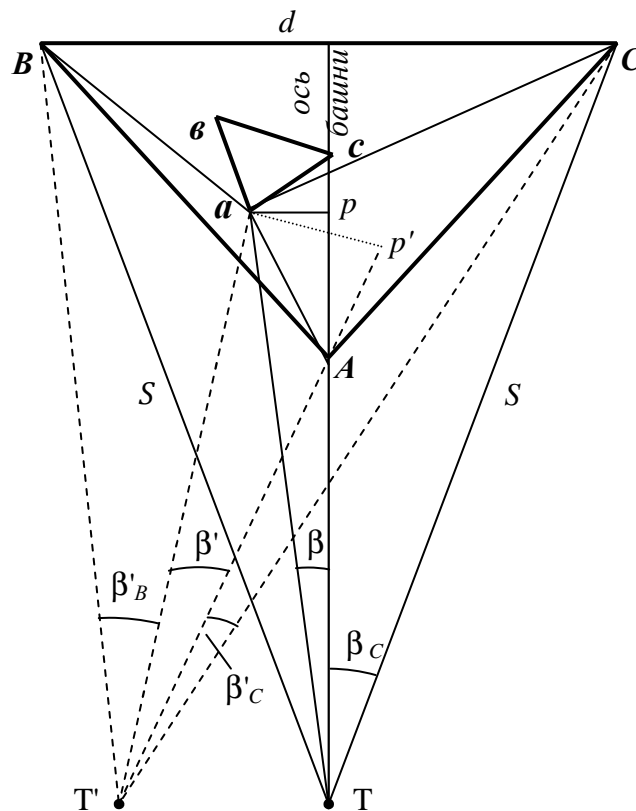


Рис. 33. Схема к определению влияния нестворности теодолита

Действительно, (рис. 33) 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 линейного отклонения ap будет получено неправильное линейное отклонение ap' .

В табл. 5 приведены изменения значений ap для башни высотой $H = 70$ м в зависимости от разности $(\beta' - \beta)$ при различных расстояниях S от точки стояния теодолита до верхних точек и построен график (рис. 34).

Т а б л и ц а 5

Ошибки определения линейного отклонения ap (в см) в зависимости от нестворности теодолита ($\beta' - \beta$) для различных расстояний S

S_i , м	$(\beta' - \beta)$, сек										
	5	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300
1,0H(70)	0,2	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2
1,5H(105)	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	6,1	9,2	12,2	15,3
2,0H(140)	0,3	0,7	1,4	2,0	2,7	3,4	4,1	8,1	12,2	16,3	20,4
2,5H(175)	0,4	0,8	1,7	2,5	3,4	4,2	5,1	10,2	15,3	20,4	25,4
3,0H(210)	0,5	1,0	2,0	3,0	4,1	5,1	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5

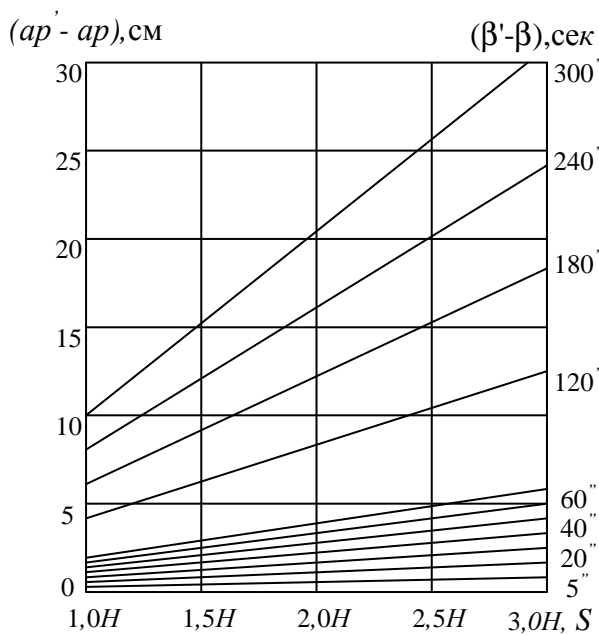


Рис. 34. График зависимости $(ap' - ap)$ от $(\beta' - \beta)$ при различных S

Так, для башни высотой 70 м при изменении разности $(\beta' - \beta)$ от 5" до 300" и для различных расстояний S от 1,0H до 3,0H ошибка определения линейного отклонения ap может находиться в пределах от 0,2 до 30,5 см. Причём измерять расстояния S можно с относительной ошибкой не ниже 1:300.

Исключить влияние нестворности можно следующим образом. Во-первых, можно контролировать положение теодолита на оси сооружения путем измерения горизонтальных углов $BT'A$ и $AT'C$ (рис. 33) и, при необходимости, положение теодолита корректировать, добиваясь равенства этих углов, а точку

стояния теодолита стараться максимально приближать к наблюдаемому сооружению.

Другой путь исключения влияния нестворности теодолита может выполняться путём непосредственного определения правильного линейного отклонения ap аналитическим или графическим способами, способом тройной линейной засечки, способом перпендикуляров, способом координат [11].

4.4. 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) её сечениях. Пример определения крена дымовой трубы Ново-Горьковской ТЭЦ с расположением

наблюдаемых точек 1-1', 2-2',... на уровне светофорных площадок приведен на рис. 35. Наблюдения производились с двух станций Ст. 2 и Ст. 3 в двух взаимно перпендикулярных направлениях (угол засечки 88°) теодолитом 2Т5К с использованием ориентир-буссоли.

Одновременно с измерением направлений (графы 1-4) измерялись углы наклона на наблюдаемые точки (в табл. 6 и 7 не показаны). Малое расстояние от станции 2 до трубы компенсировалось тем, что эта станция располагалась на крыше химцеха НГ-ТЭЦ, что позволило уменьшить измеряемые углы наклона.

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

$$K_{1,2} = 0,49 \times \Delta_{1,2} \times 0,01 \times L_{1,2}, \quad (29)$$

вычисляют (в мм) 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.

Т а б л и ц а 6

Результаты измерений со станции 2 ($L_2 = 98,25$ м)

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

Полученные значения частных кренов необходимо экстраполировать на всю высоту трубы (графа 7). Это означает определение крена трубы на всю высоту от подошвы фундамента до её верха по значению частного крена участка трубы между верхним и нижним наблюдаемыми сечениями. Для это-

го вначале вычисляют экстраполированный крен верхнего сечения $K_{\text{Э}}$ по формуле

$$K_{\text{Э}} = K_{\text{В}}H/H_{\text{В}}, \quad (30)$$

где $K_{\text{В}}$ – крен верхнего наблюдаемого сечения со своим знаком «плюс» или «минус»; H – высота трубы от подошвы фундамента до её верха; $H_{\text{В}}$ – расстояние от нижнего до верхнего наблюдаемых сечений.

Для определения экстраполированных кренов промежуточных сечений необходимо найти их алгебраическую сумму с разностью ($K_{\text{Э}} - K_{\text{В}}$).

Т а б л и ц а 7

Результаты измерений со станции 3 ($L_3 = 174,00$ м)

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

На рис. 35 показаны разрезы, характеризующие отклонения оси трубы от вертикали по направлениям, перпендикулярным наблюдаемым. Кроме того, на рис. 35 построены графики, характеризующие величины в мм и направления крена трубы, полное значение K которого можно определить графически способом перпендикуляров или вычислить по формуле

$$K = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{K_1^2 + K_2^2 - 2K_1K_2 \cos \gamma}, \quad (31)$$

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

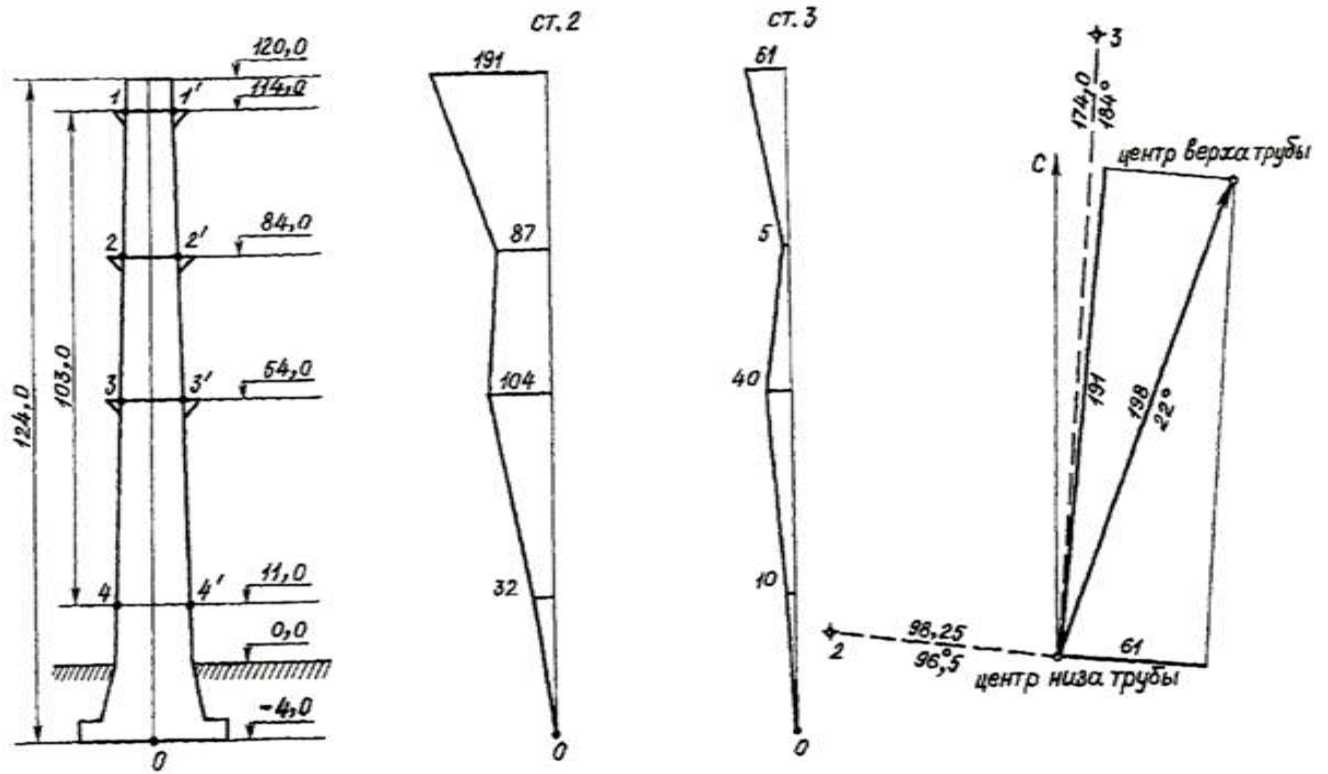


Рис. 35. Точки наблюдений, частные крены и общий крен трубы

Для геометрической интерпретации результатов измерения крена трубы способом направлений разработаны программы «Профиль» и «План».

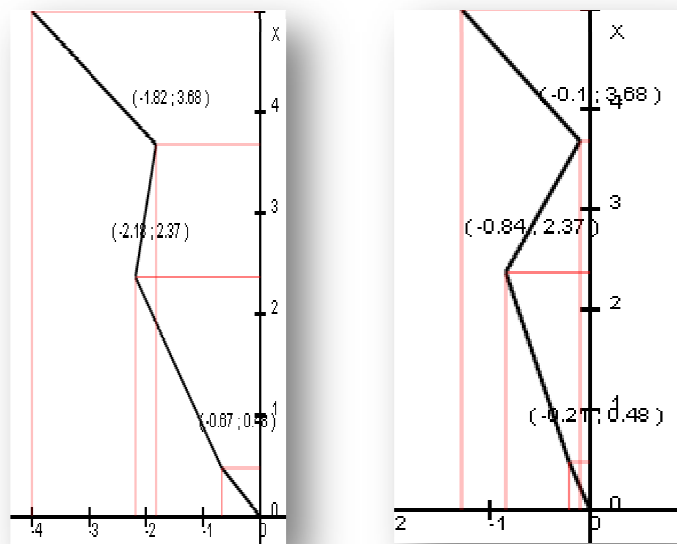


Рис. 36. Программа «Профиль» для построения вертикальных разрезов трубы

Исходными данными для программы «Профиль» являются величины отклонений центров сечений трубы от вертикали и высота сечений (рис. 36).

Исходными данными для программы «План» являются величины отклонений центров сечений трубы от вертикали по двум взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 37).

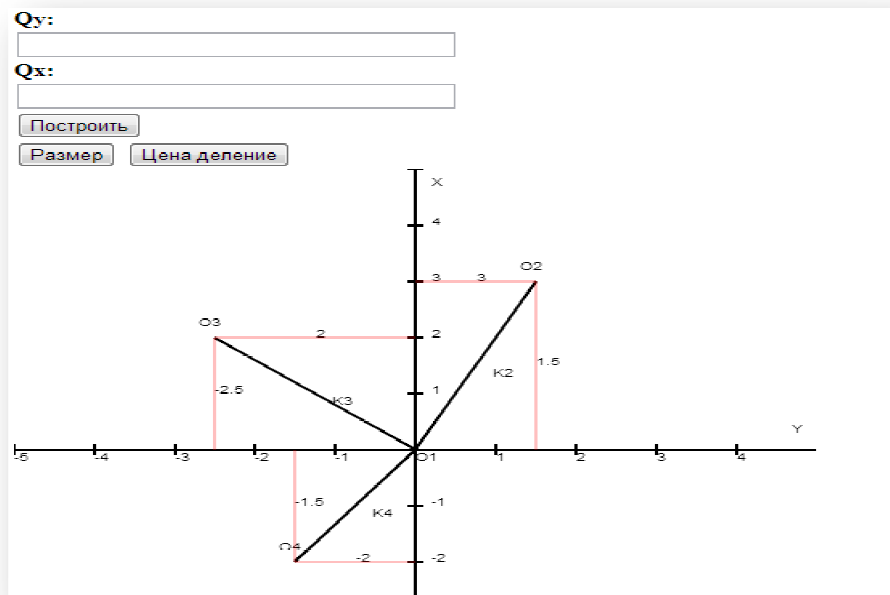


Рис. 37. Программа «План» для построения частных кренов трубы

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. 38. Угловые измерения выполняются с пунктов планового обоснования в следующей последовательности:

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. 39а.

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 измерениям, выполняемым при контроле вертикальности. Пример типовой исполнительной схемы результатов контроля прямолинейности двух поясов башни четырехугольной формы представлен на рис. 39б.

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. 40.

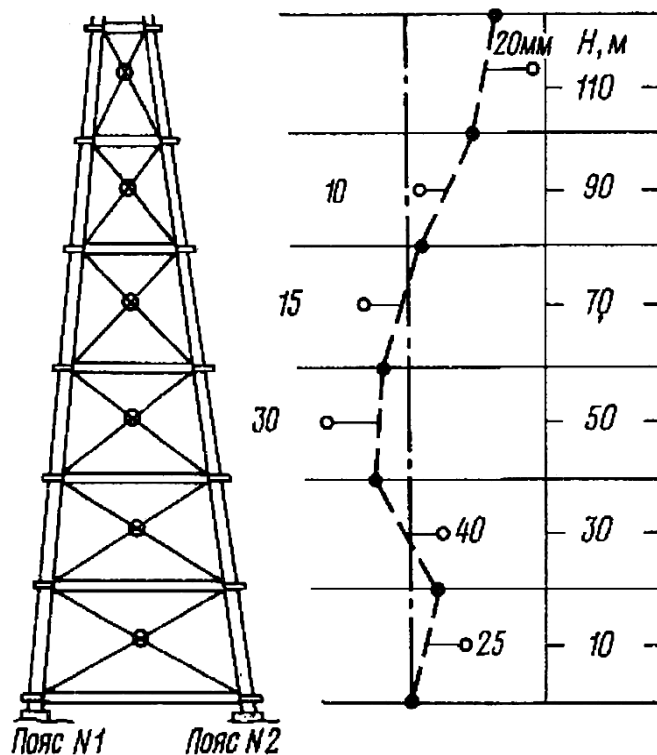


Рис. 40. Исполнительная схема решётки ствола башни

4.5. Способ координат, определяемых засечками

Он заключается в том, что с геодезических пунктов *I* и *II* (с известными координатами) путём измерения, например, горизонтальных углов 1 и 2 на хорошо заметную точку *B* на верху сооружения, определяют координата-

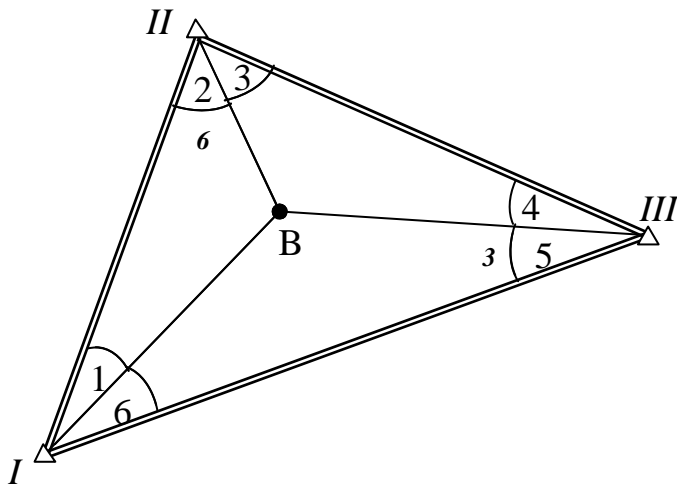


Рис. 41. Способ прямых угловых засечек

ты x и y этой точки (рис. 41). Для контроля можно дополнительно измерить углы 3, 4, 5 и 6, используя геодезический пункт III. 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 В и нижней Н точек сооружения, которые по техническим

условиям должны лежать на одной отвесной линии, то угол γ крена сооружения вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\sqrt{(x_B - x_H)^2 + (y_B - y_H)^2}}{z_B - z_H}, \quad (32)$$

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

4.5.1. Определение крена дымовой трубы способом засечек

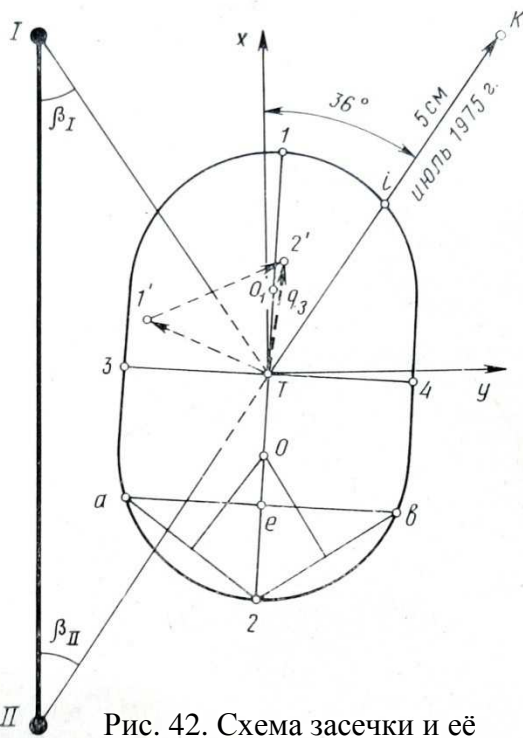


Рис. 42. Схема засечки и её подера

Покажем методику использования прямой угловой засечки на примере наблюдений за креном дымовой трубы Сормовской ТЭЦ высотой 155 м.

На территории ТЭЦ были закреплены два постоянных знака I и II на расстоянии 196,73 м друг от друга. Направление базиса II – I совпадает с направлением оси X условной системы координат.

Методика наблюдений в отдельном цикле заключалась в измерении теодолитом Т10 горизонтальных углов β_I и β_{II} между базисной линией и образующими трубы на верхнем её срезе и на высоте 20 м от подошвы фундамента (рис. 42).

По результатам наблюдений вычисляли координаты центров верхнего и нижнего наблюдаемых сечений трубы. По координатам центров определяли частный

крен K' , его направление и находили K – полный крен в данном цикле наблюдений по известной формуле $K = K'H/h$, где H – высота трубы от подошвы фундамента до её верха; h – превышение центра верхнего сечения над центром нижнего наблюдаемого сечения.

Ошибка определения полного крена зависит от ошибки частного крена, на которую в свою очередь оказывают влияние ошибки определения координат центров верхнего и нижнего наблюдаемых сечений. Координаты этих центров определяются независимо друг от друга, а точность положения этих центров наиболее полно характеризуется подерой среднего квадратического эллипса ошибок. Подера выражает закон распределения одномерных случайных величин по различным направлениям.

Элементами подеры являются большая полуось A , малая полуось B и угол φ большой оси. Поскольку координаты центров верхнего и нижнего наблюдаемых сечений определяются с равной точностью, то элементы их подер будут одинаковы.

Выполнив операцию так называемого квадратического сложения подер верхнего и нижнего центров и используя изложенный выше принцип t – кратного подобного увеличения, получим элементы A_0 , B_0 и φ_0 результирующей подеры:

$$A_0 = A \sqrt{2} \frac{H}{h} t, B_0 = B \sqrt{2} \frac{H}{h} t, \varphi_0 = \varphi, \quad (33)$$

где A , B и φ – элементы подеры центра верхнего (нижнего) наблюдаемого сечения; t – нормированный множитель, зависящий от заданной вероятности получения данных о крене сооружения.

Таким образом, задача оценки точности определения полного крена сводится в основном к определению элементов подеры центров верхнего (нижнего) наблюдаемых сечений. Эти элементы вычисляются по формулам:

$$A^2 = \frac{2m_\beta^2}{[q^2] - q_3}; B^2 = \frac{2m_\beta^2}{[q^2] + q_3}; \varphi = \frac{1}{2} \arctg \frac{[q^2 \sin 2\alpha]}{[q^2 \cos 2\alpha]}, \quad (34)$$

где m_β – СКО измерения углов; α_i – дирекционные углы направлений засечки; $[q^2]$ – сумма квадратов градиентов сторон засечки; q_3 – замыкающая квадратического полигона.

В свою очередь

$$q_i = \rho/S_i, (q_3)^2 = [q^2 \sin 2\alpha]^2 + [q^2 \cos 2\alpha]^2, \quad (35)$$

где S_i – длины сторон засечки, которые могут быть определены графически со схемы засечки; $\rho = 206265''$.

Необходимые данные для вычислений по формулам (34,35) приведены в табл. 8.

Исходные данные

Направления засечки	α_i , град	S_i , м	q_i , с/см	q_i^2 , с ² /см ²	$2\alpha_i$, град
<i>I</i> – <i>T</i>	147 ⁰ 30'	121,7	16,95	287,26	295
<i>II</i> – <i>T</i>	34 ⁰ 30'	116,0	17,79	316,40	69

В результате вычислений при $m_\beta = 10''$ получены следующие значения: $q_3 = 237,39$ с²/см², $A = 0,74$ см, $B = 0,49$ см, $\varphi = 4^\circ 14'$. Следует отметить, что такие аргументы как q_3 и φ могут быть найдены путём элементарных графических построений так называемого квадратического полигона $T - 1' - 2'$ со сторонами q_i^2 , дирекционные углы которых $2\alpha_i$. В этом полигоне $T - 2' = q_3$, а её дирекционный угол равен 2φ .

По формулам (34), приняв, например, $t = 2$, вычисляем элементы результирующей подеры, характеризующей ошибку определения полного крена с вероятностью 0,955: $A_0 = 0,74 \sqrt{2} \frac{155}{135} 2 = 2,40$ см; $B_0 = 0,49 \sqrt{2} \frac{155}{135} 2 = 1,59$ см; $\varphi_0 = 4^\circ 14'$.

Подеру можно построить различными способами. Рассмотрим один из них (см. рис. 42). Проводим через точку T прямую, дирекционный угол которой равен $4^\circ 14'$. На ней откладываем в выбранном масштабе отрезки $T - 1 = T - 2 = 2,40$ см, а по перпендикулярному направлению – отрезки $T - 3 = T - 4 = 1,59$ см.

Заметим, что расстояния $1-4 = 1-3 = 2-4 = 2-3 = \sqrt{A_0^2 + B_0^2} = M$ – средней квадратической (круговой, радиальной) ошибке. В точке e восстанавливаем перпендикуляр av к большой полуоси подеры, причём $Te = ea = ev = M/2$. По точкам a , 2 и v находим центр окружности O , а также симметричный ему O_1 . Проведя окружности радиусом $O - 2 = O_1 - 1$ и плавно соединив их с точками 3 и 4 , получаем подеру. При неизменной методике наблюдений в каждом цикле такие вычисления и построения достаточно выполнить один раз.

Из других способов построения подеры отметим механический способ с помощью приборов типа «Подерограф» или на ПК с использованием специальной программы.

Оценка точности определения полного крена с помощью подеры осуществляется следующим образом.

Пусть в одном из циклов наблюдений был определён полный крен $K = 5$ см с дирекционным углом 36° . Проводим линию $TK = 5$ см под углом 36° к оси X и измеряем отрезок $T - i$, который в масштабе построений оказался равным 2,2 см. Следовательно, полный крен в данном цикле измерений был определён с ошибкой 2,2 см.

В общем случае с заданной вероятностью можно судить о полном крене, если его величина $K_i \geq R_i$, где R_i – радиус-вектор подеры по направлению крена.

При $K_i < R_i$ нельзя судить о полном крене с заданной степенью вероятности, поскольку ошибка определения превышает его величину. Следовательно, при расчётах требуемой точности измерения горизонтальных углов β_I и β_{II} необходимо исходить из величины минимального крена, который необходимо фиксировать в результате наблюдений с заданной вероятностью.

Особый интерес представляет такое расположение точек так называемой E -оптимальной опорной сети, для которой подера трансформируется в круг. В этом случае ошибки по любому направлению будут одинаковы. Из формул (34) видно, что $A = B$ в том случае, если $q_3 = 0$. Эта задача может быть решена различными способами, причём наиболее просто с помощью построения и анализа квадратического полигона.

Одним из способов является выбор соответствующего расположения опорных пунктов. Так, подера однократной угловой засечки трансформируется в круг, если угол засечки равен 90° , а стороны засечки одинаковы. В этом случае точка 2' квадратического полигона $T - 1' - 2'$ совпадает с точкой T , следовательно $q_3 = 0$.

Если наблюдения следует производить более чем с двух пунктов, то на плане необходимо наметить возможные направления засечки и определить их дирекционные углы. Затем на схеме провести через точку T линии под двойными дирекционными углами. Варьируя расстояния (квадраты градиентов), число и сочетание направлений, добиваются замкнутого квадратического полигона. По квадратам градиентов определяют длины сторон засечки.

Другим способом E -оптимизации является включение в сеть дополнительных измерений. Например, если положение некоторых опорных пунктов фиксировано, то по длине и направлению замыкающей квадратического полигона можно вычислить параметры дополнительного направления засечки для включения его в наблюдения. В нашем примере подера трансформируется в круг, если есть возможность к существующей схеме засечки добавить ещё одно направление, дирекционный угол которого $2\alpha_3 = \varphi_0 - 90^\circ = 274^\circ 14'$, а длина стороны $S_3 = 206265'' / \sqrt{237,39} = 133,87$ м.

E -оптимальная сеть позволяет довольно просто решать вопрос о необходимой точности измерения горизонтальных углов. В каждом конкретном случае специалисту, производящему наблюдения, следует исходить из заданной наименьшей величины крена, которую необходимо фиксировать с требуемой степенью достоверности. Тогда, приняв радиус трансформированной в круг подеры равным K_{min} , на основании формул (33,34) можно определить требуемую точность измерения горизонтальных углов засечки:

$$m_\beta = \frac{K_{min} \sqrt{[q^2]}}{2Ht} h. \quad (36)$$

4.5.2. Определение крена башни треугольной формы способом засечек

Использование способа координат 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 получают всю необходимую информацию. Координаты вершин треугольников могут определяться способом засечек, электронными тахеометрами или (в перспективе) GPS-приемниками. На рис. 43 показан способ прямых угловых засечек.

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° .

С точек 1 и 2 измеряют теодолитом горизонтальные углы β_{1C} , β_{1A} , β_{1B} и β_{2C} , β_{2B} , β_{2A} на нижние точки ABC и β_{1c} , β_{1a} , $\beta_{1\epsilon}$ и β_{2c} , $\beta_{2\epsilon}$, β_{2a} на верхние точки abc .

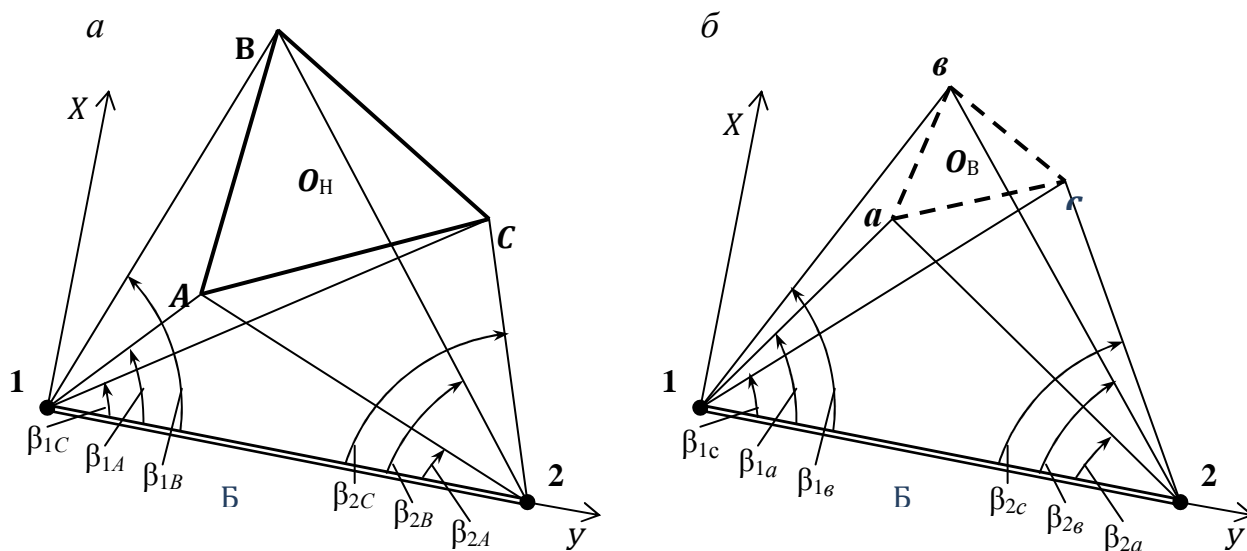


Рис. 43. Схемы к определению координат нижних (а) и верхних (б) точек башни

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:

$$X_A = \frac{B \sin \beta_{2A} \sin \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, \quad X_B = \frac{B \sin \beta_{2B} \sin \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, \quad X_C = \frac{B \sin \beta_{2C} \sin \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})},$$

$$Y_A = \frac{B \sin \beta_{2A} \cos \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, \quad Y_B = \frac{B \sin \beta_{2B} \cos \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, \quad Y_C = \frac{B \sin \beta_{2C} \cos \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})}, \quad (37)$$

$$X_a = \frac{B \sin \beta_{2a} \sin \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, \quad X_e = \frac{B \sin \beta_{2e} \sin \beta_{1e}}{\sin(\beta_{1e} + \beta_{2e})}, \quad X_c = \frac{B \sin \beta_{2c} \sin \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})},$$

$$Y_a = \frac{B \sin \beta_{2a} \cos \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, \quad Y_e = \frac{B \sin \beta_{2e} \cos \beta_{1e}}{\sin(\beta_{1e} + \beta_{2e})}, \quad Y_c = \frac{B \sin \beta_{2c} \cos \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})}.$$

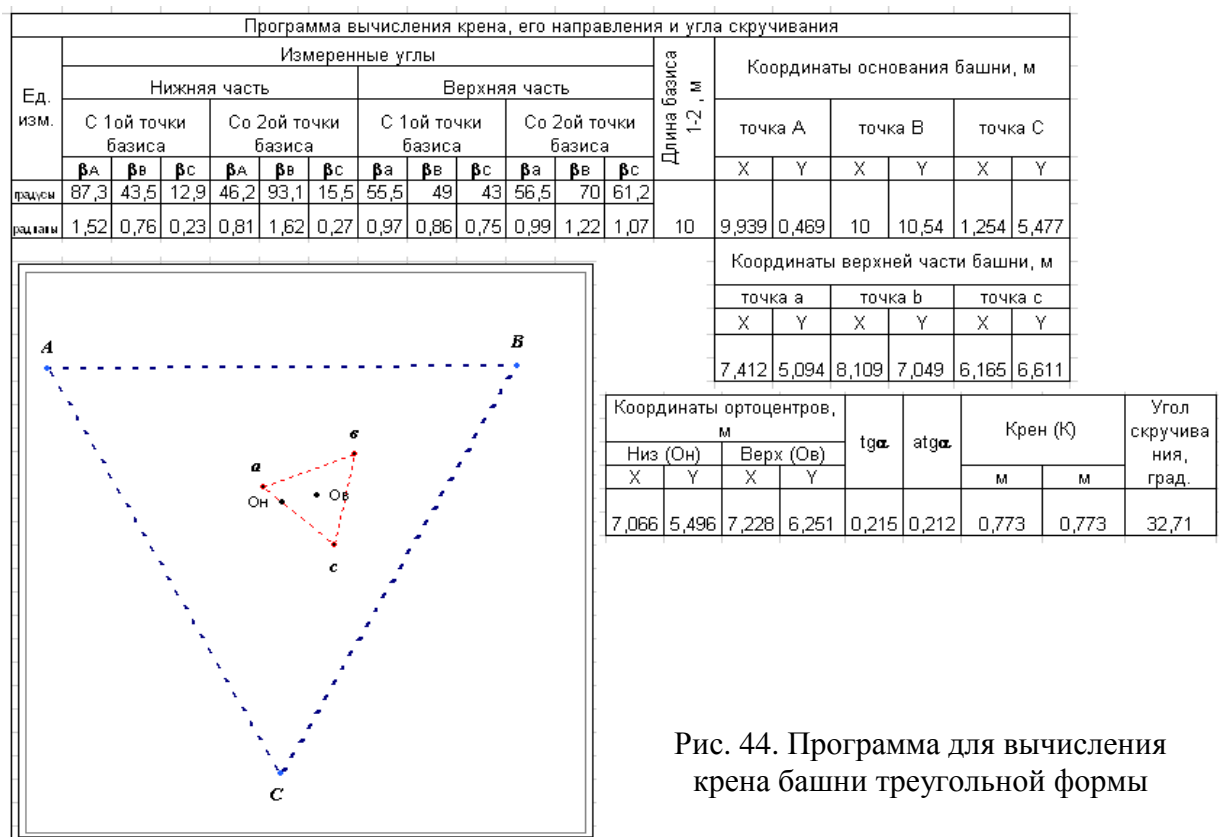


Рис. 44. Программа для вычисления крена башни треугольной формы

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

$$X_{OH} = \frac{X_A + X_B + X_C}{3}, \quad Y_{OH} = \frac{Y_A + Y_B + Y_C}{3},$$

$$X_{OB} = \frac{X_a + X_e + X_c}{3}, \quad Y_{OB} = \frac{Y_a + Y_e + Y_c}{3}. \quad (38)$$

По координатам ортоцентров O_H , O_B и вершин ABC , abc путём 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 рис. 44 приведен пример одной из разработанных авторами на базе Microsoft Excel программ для обработки результатов измерений, получаемых способом прямоугольных координат. Для этого достаточно ввести в ПК длину базиса B и 12 измеренных углов. Программа вычисляет координаты каждой вершины треугольников ABC и abc , координаты ортоцентров, величину крена и его направление и дает геометрическую интерпретацию положения верхнего треугольника относительно нижнего и их ортоцентров.

4.5.3. Косвенное определение углов засечки

На практике, при наблюдениях за сооружениями башенного типа способом прямой угловой засечки в условиях плотной застройки, бывает трудно выбрать такое местоположение базисных точек 1 и 2, которое, помимо прочего, обеспечивало бы взаимную видимость между ними.

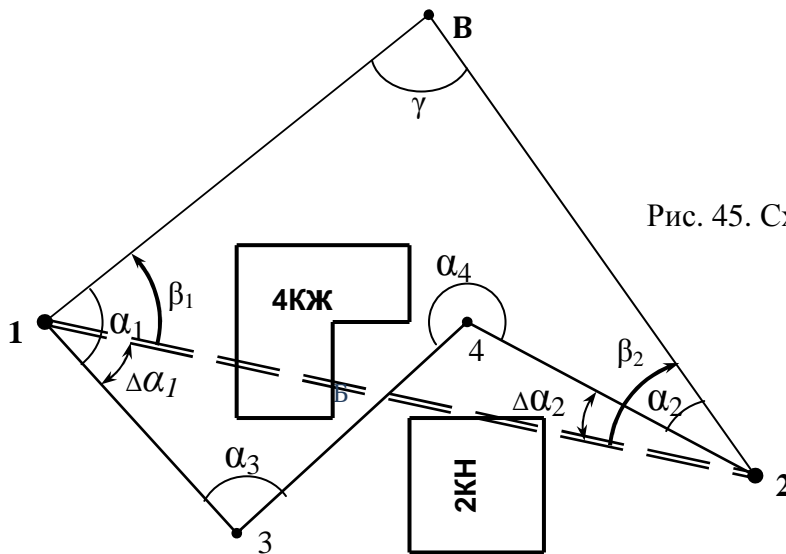


Рис. 45. Схема косвенного определения углов засечки

В этом случае между базисными точками прокладывают полигонометрический ход 1–3–4–2 и путём решения обратной геодезической задачи вычисляют длину замыкающей (длину базиса B засечки) и её дирекционный угол в принятой системе координат (рис. 45).

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 и дирекционного угла базиса. В свою очередь

угол засечки γ может быть найден как $\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2)$ или $\gamma = 180^\circ(n-1) - \Sigma\alpha_i$. Аналогичным образом могут быть организованы наблюдения многократной засечкой.

4.6. Определение крена дымовой трубы с помощью электронного тахеометра безотражательного типа

С помощью современного электронного тахеометра можно определять горизонтальные углы, зенитные расстояния, наклонные дальности, горизонтальные проложения, превышения или высоты визируемых точек, приращение координат или координаты точек визирования, недоступные расстояния.

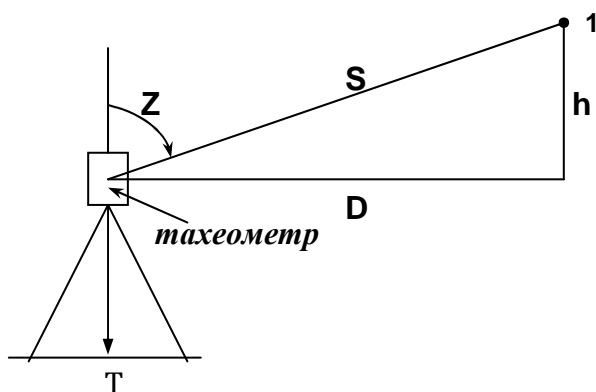


Рис. 46. Данные, получаемые с помощью клавиши **SDh** тахеометра

Так, например, установив прибор в некоторой точке Т и приведя его в рабочее положение, наводят перекрестие сетки или лазерное пятно на точку 1 и на первой странице режима Р1 нажимают клавишу УСТ 0, а затем клавишу РАССТ. На экране отображаются: измеренное расстояние S и отсчёты 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 наклонное расстояние S, горизонтальное проложение D и превышение h (рис. 46).

Приведенный здесь электронный тахеометр SET 530R/R3 (рис. 47) позволяет измерять углы с точностью $5''$, дальность измерения расстояний без отражателя (пленки или призмы) 350 м с точностью $\pm(3+2 \times 10^{-6} \times D)$ мм.

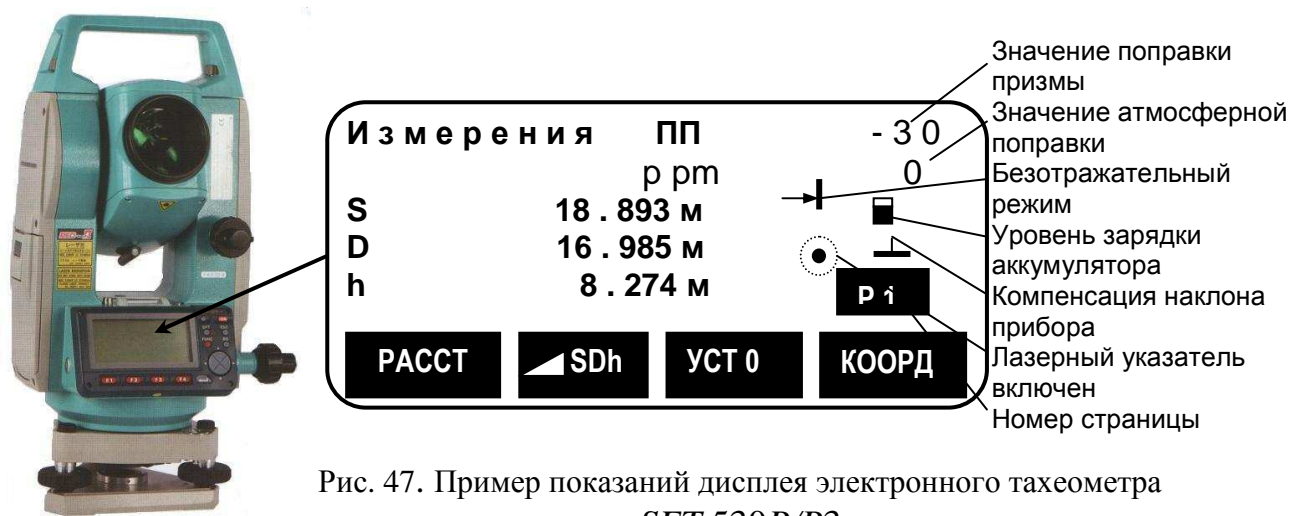


Рис. 47. Пример показаний дисплея электронного тахеометра SET 530R/R3

4.6.1. Двусторонний способ определения крена дымовой трубы

Достаточно установить электронный тахеометр, например, в точке 1 (рис. 48а) и, визируя последовательно на точки 0, 1, ..., 4 при включенном соответствующем режиме измерений, сразу получать 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_i соответствующие радиусы трубы R_i , находят расстояния X_i и Y_i от опорных точек 1 и 2 до центра трубы (рис. 48б). По разностям этих расстояний находят величину частных или общего крена трубы. Так, например, общий крен K трубы и его направление (рис. 48б) можно найти аналитически, путём 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. 48б) можно также найти путём простых графических построений. Для этого достаточно на осях прямоугольной системы координат XO_HY отложить в крупном масштабе отрезки ΔX и ΔY с учётом 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 счёт принудительного центрирования) можно контролировать правильность наведения на точки 0, 1, ..., 4 по значениям превышений h на экране дисплея.

4.6.2. Односторонний способ определения крена дымовой трубы

Способность современных электронных тахеометров выдавать на экран дисплея пространственные координаты наблюдаемых точек позволяет реализовать односторонний способ определения крена. Его сущность заключается в следующем (рис. 49). С опорной точки 1 определяют тахеометром условные координаты ΔX и Y_4 точки 4 в системе координат XO_HY . Вычисляют $\Delta Y = Y_4 - Y_{4пр}$ и по значениям ΔX и ΔY находят крен K и его направление.

Однако описанный выше способ и возможные варианты его модификации в своей основе имеют один существенный недостаток. Он заключается в том, что практически невозможно расположить точки 0, 1, ..., 4 (рис. 48а) одновременно по направлению координатной оси и на диаметре трубы, совпадающем с направлением этой оси. Поэтому односторонний способ определения крена электронным тахеометром можно выполнить следующим образом (рис. 49).

В опорной точке 1, расположенной на расстоянии $1,5-3,0H$ от трубы в месте, с которого виден её верх и низ, устанавливают тахеометр. Визируя и беря отсчёты по горизонтальному кругу на левую и правую образующие трубы в её нижнем сечении, находят средний отсчёт, по которому на трубе от-

мечают точку O . На уровне этой точки измеряют периметр трубы $2\pi R_0$ и вычисляют её радиус R_0 . Измеряют расстояние $1-O = Y_0$, прибавив к которому R_0 получают координаты нижнего O_H центра трубы $X = 0$, $Y = Y_H$. Находят проектные координаты точки $4_{пр}$, а именно $X_{4пр} = 0$, $Y_{4пр} = Y_H - R_4$.

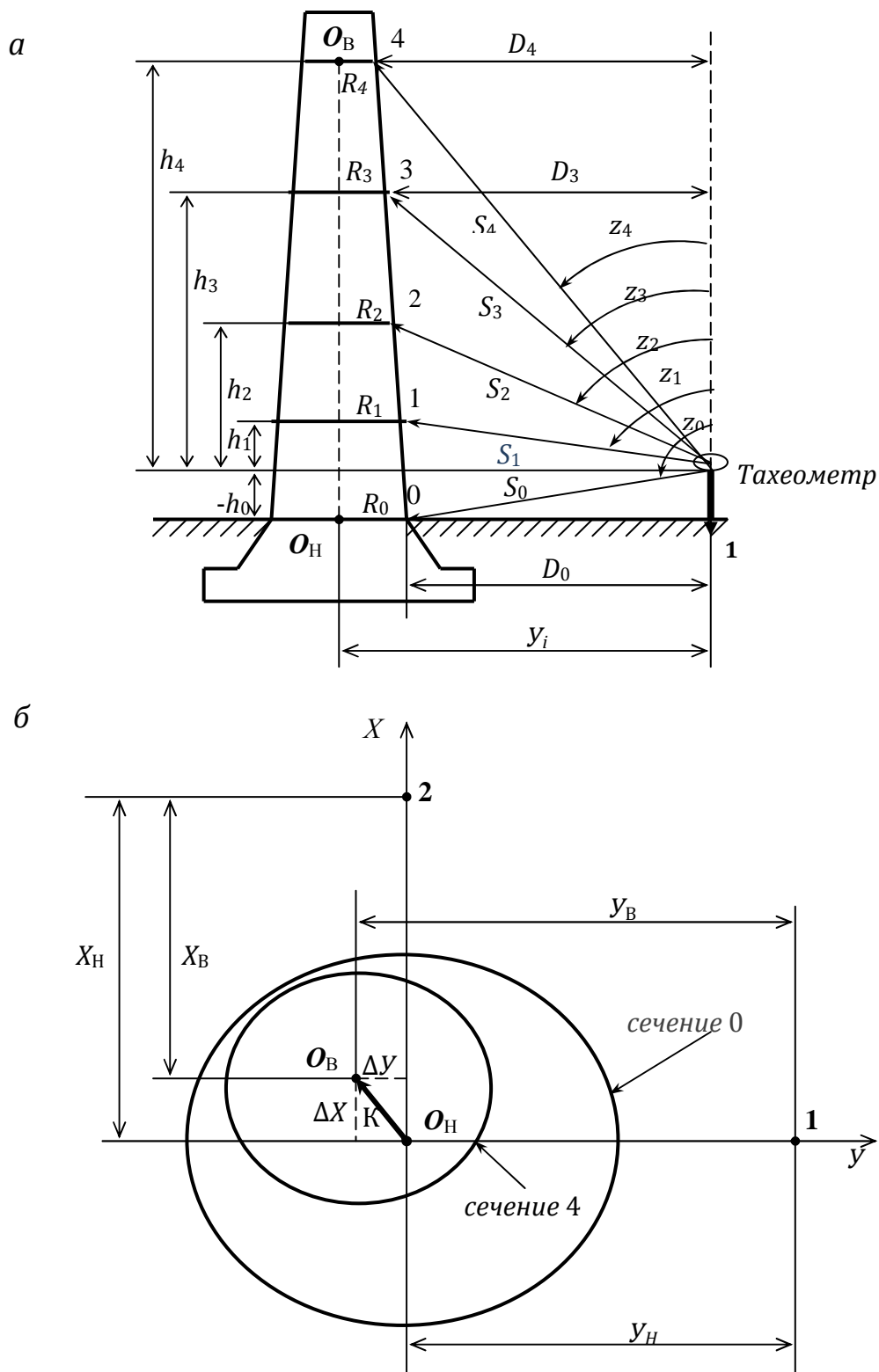


Рис. 48. Схема двустороннего способа определения крена сооружения электронным тахеометром

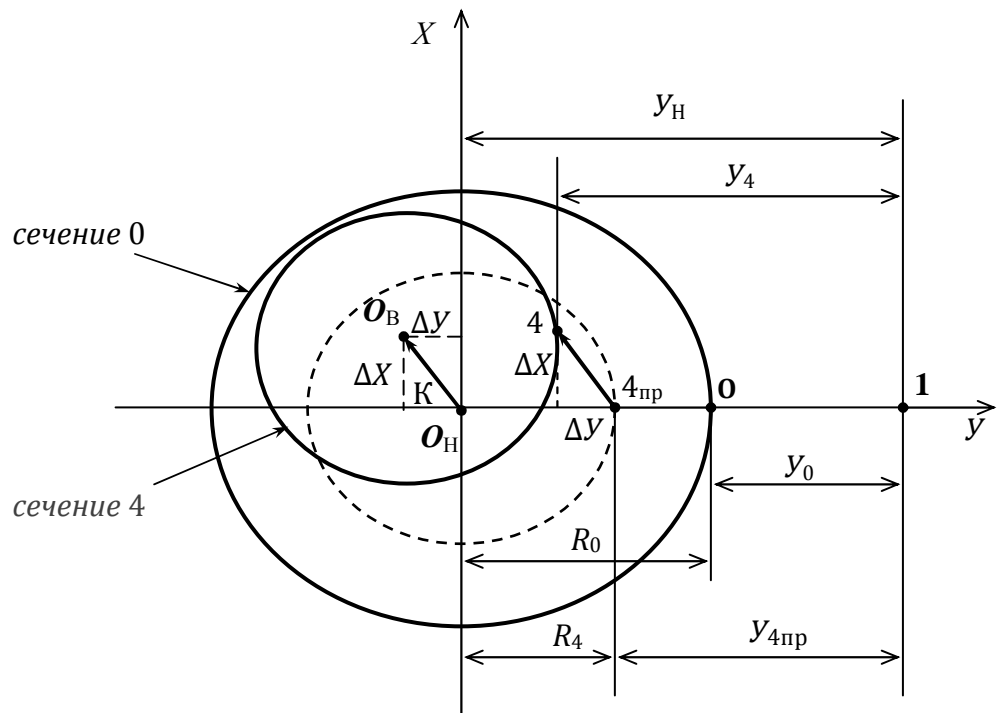


Рис. 49. Схема одностороннего способа определения крена электронным тахеометром

Визируя и беря отсчёты по горизонтальному кругу на левую и правую образующие трубы в её верхнем сечении 4 (рис. 50), находят средний отсчёт, соответствующий направлению на центр O_B этого сечения и устанавливают его на горизонтальном круге.

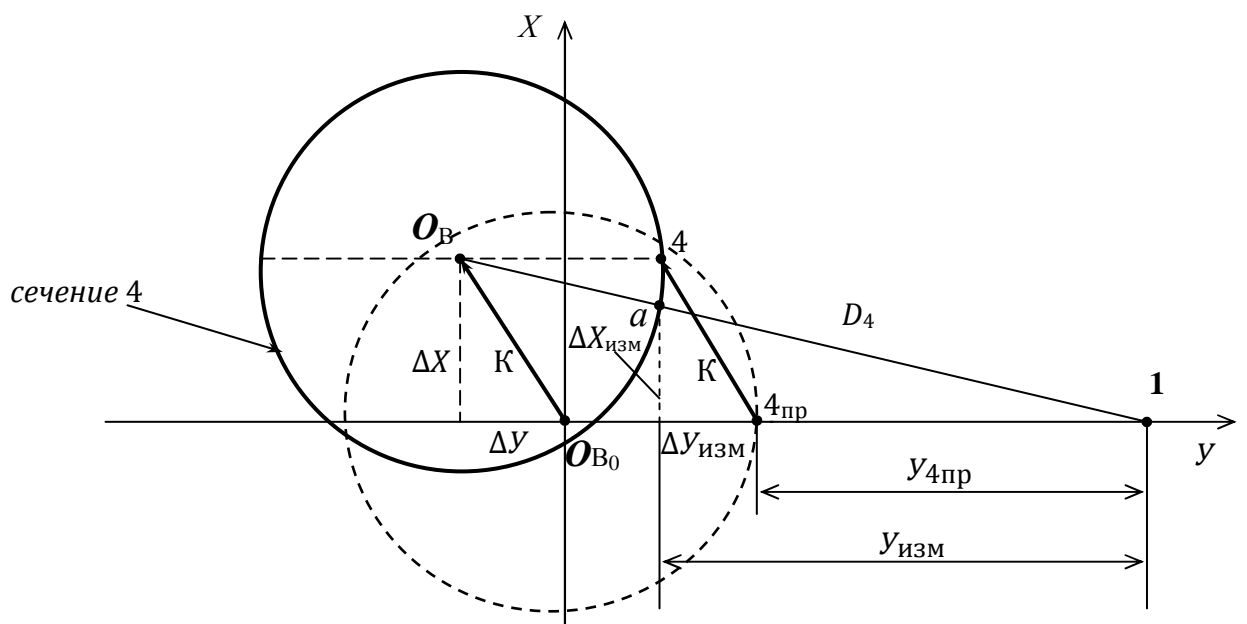


Рис. 50. Схема практического выполнения одностороннего способа определения крена электронным тахеометром

По этому направлению измеряют горизонтальное проложение $1-a = D_4$, а затем координаты $\Delta X_{\text{изм}}$ и $Y_{\text{изм}}$ точки a в системе координат $XO_H Y$. По этим данным вычисляют $\Delta Y_{\text{изм}} = Y_{\text{изм}} - Y_{4\text{пр}}$ и определяют ΔX по формуле

$$\Delta X = \Delta X_{\text{изм}} \left(1 + \frac{R_4}{D_4}\right). \quad (39)$$

Приняв $\Delta Y \approx \Delta Y_{\text{изм}}$, вычисляют путём 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 $1_{\text{пр}}, 2_{\text{пр}}, 3_{\text{пр}} \dots$. По этой методике можно вообще обойтись без предварительной маркировки точек $1, \dots, 4$.

Однако следует отметить, что в описанных способах координат (рис. 48, 49, 50) необходимо знать фактические радиусы каждого наблюдаемого сечения трубы, от точности которых в значительной степени будет зависеть точность получаемых результатов.

4.6.3. Способы определения радиуса сооружений круглой формы

Необходимость определения радиусов может возникнуть при обмерах сооружений, имеющих форму тела вращения: дымовые и вентиляционные трубы, градирни, ректификационные колонны, грануляционные башни, копы над стволами шахт, водонапорные башни, радиотелевизионные антенные опоры, силосные башни, колонны зданий, различные резервуары, купола исторических памятников и др.

Вообще говоря, фактические радиусы, например, дымовой трубы, могут быть определены путём непосредственных измерений периметра $2\pi R$ наблюдаемых сечений, либо, при наличии видимости на левую L и правую Π образующие трубы, их можно определить дистанционно.

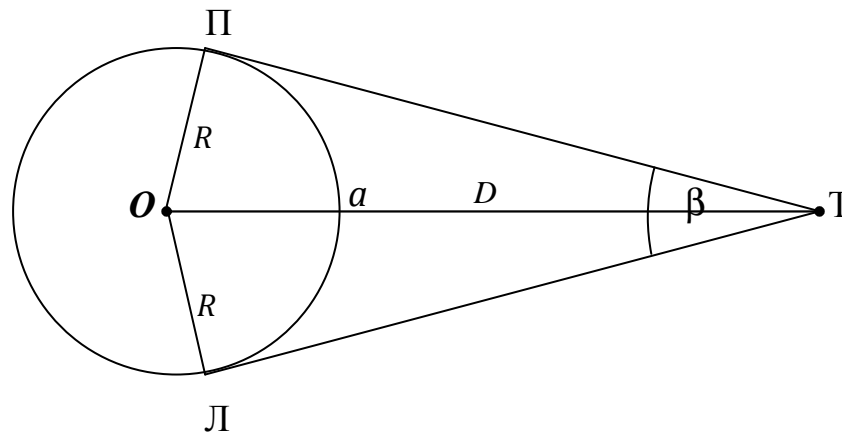


Рис. 51. Схема дистанционного способа определения радиуса сооружения круглой формы

Для этого (рис. 51) достаточно установить тахеометр T на некотором расстоянии от трубы, измерить горизонтальный угол β между её левой и правой образующими L и Π и измерить горизонтальное проложение $Ta = D$. По этим данным можно вычислить радиус трубы R :

$$R = \frac{D \times \sin \frac{\beta}{2}}{1 - \sin \frac{\beta}{2}}. \quad (40)$$

Результаты анализа формулы (40) с позиций теории ошибок для трубы высотой $H = 120$ м, радиуса трубы поверху 3 м, понизу 5 м и при СКО $m_\beta = 5''$, СКО $m_D = 10$ мм сведены в табл. 9. При этом теоретические значения входящих в формулу (40) углов $\beta/2$ были подсчитаны по формуле (41)

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{R}{D + R}. \quad (41)$$

Т а б л и ц а 9

Ошибки m_R в зависимости от ошибок измерения расстояний $m_D = 10$ мм и углов $m_\beta = 5''$

$(D + R)$, м		$1,0H(120)$	$1,5H(180)$	$2,0H(240)$	$2,5H(300)$	$3,0H(360)$
m_R , мм	Верх ($R=3$ м)	3,0	4,4	5,9	7,3	8,8
	Низ ($R=5$ м)	3,1	4,5	5,9	7,4	8,8

Если в формуле (40) дробное выражение при D разложить в ряд, то получим для радиуса R другую формулу

$$R = D \left(\sin \frac{\beta}{2} + \sin^2 \frac{\beta}{2} + \sin^3 \frac{\beta}{2} + \dots \right), \quad (42)$$

по которой точность вычисления значения радиуса будет зависеть от количества слагаемых в скобках.

Для непосредственного определения количества слагаемых n в скобках формулы (42), в зависимости от фактического соотношения $k = D/R$ и заданной точности вычисления радиуса от 10^{-1} до 10^{-5} , можно воспользоваться графиком на рис. 52.

В настоящее время широкое распространение получили цифровые видеоизмерительные устройства на базе использования ПЗС-матриц в сочетании с компьютерной техникой (так называемые неметрические цифровые фотокамеры). С их помощью радиусы сооружений круглой формы (рис. 53) можно определять следующим образом.

Фотографируют сооружение с приложенной к нему горизонтально нивелирной рейкой из точки Φ , расположенной на некотором расстоянии $\Phi O = nR$ (где n – число укладываний радиуса в расстоянии ΦO). Нивелирная

рейка в дальнейшем служит для масштабирования снимка с целью получения результатов измерений на нём в метрической системе.

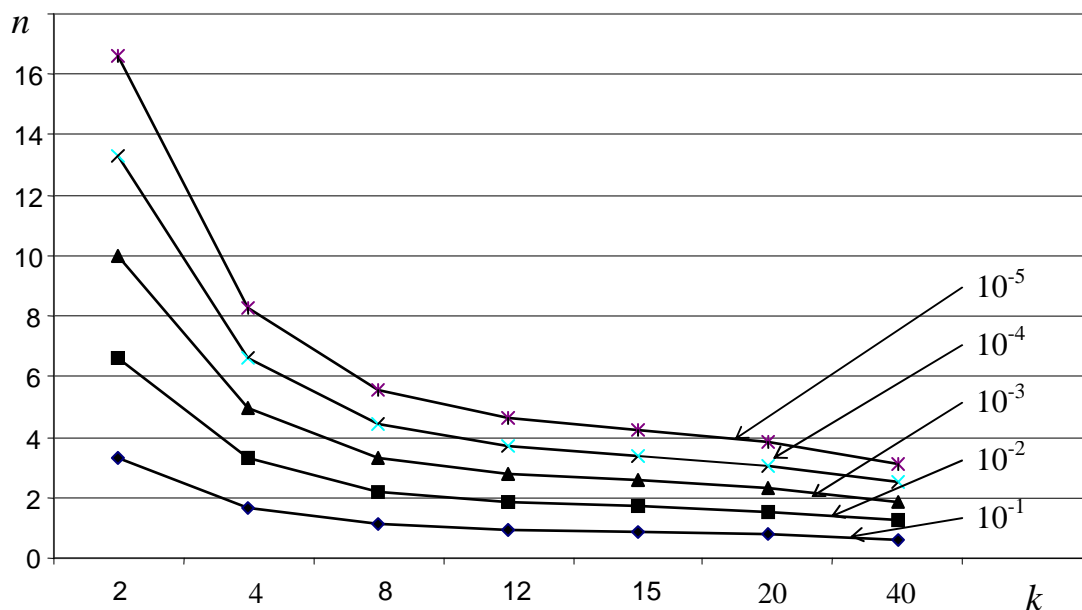


Рис. 52. Графики зависимости количества слагаемых n от соотношения k

Радиус сооружения вычисляют по формуле

$$R = \frac{h}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}} \quad (43)$$

В этой формуле единица, делённая на корень квадратный, представляет поправочный коэффициент к измеренной на снимке (с использованием программы, например, ArchiCAD 11) величине $h = 3-4/2$.

Анализ формулы (43) с позиций теории ошибок позволяет констатировать, что точность определения радиуса сооружения предлагаемым способом в основном зависит от точности измерения на снимке величины хорды 3-4.

Что касается масштабирования снимка по нивелирной рейке, расположенной в точке 5 на расстоянии O_1-5 от хорды 3-4, то в данном случае в длину рейки $2c$ необходимо вводить поправку $2p$, которую можно вычислить по формуле

$$p = c \frac{n-1}{n^2-1}, \quad (44)$$

причём, точность определения поправки p зависит только от точности определения расстояния от фотокамеры до оси сооружения.

Если есть возможность расположить рейку вдоль хорды 3-4 и сфотографировать её из точки Φ_1 , то в этом случае необходимость использования поправки p отпадает.

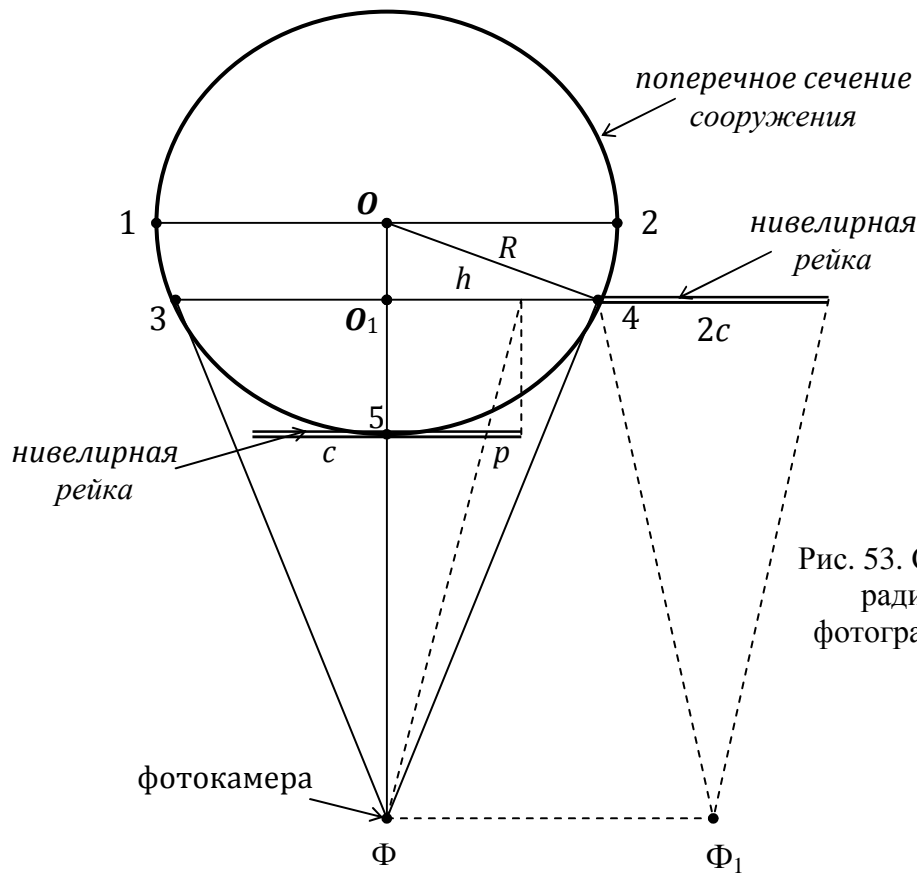


Рис. 53. Схема к определению радиуса сооружения фотографическим способом

4.6.4. Односторонний координатный способ определения крена дымовой трубы

Этот способ предусматривает определение с помощью электронного тахеометра прямоугольных координат, как минимум, трёх точек 1, 2 и 3 сечения трубы (рис. 54). Координаты центра сечения можно вычислить по формулам Крамера:

$$x_0 = \Delta_x / \Delta, \quad y_0 = \Delta_y / \Delta, \quad (45)$$

где Δ , Δ_x и Δ_y – определители, вычисляемые по формулам:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) \\ 2(x_1 - x_3) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}. \quad (46)$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) & 2(y_1 - y_2) \\ (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) & 2(y_1 - y_3) \end{vmatrix}, \quad (47)$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} 2(x_1 - x_2) & (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) \\ 2(x_1 - x_3) & (x_1^2 - x_3^2) + (y_1^2 - y_3^2) \end{vmatrix}.$$

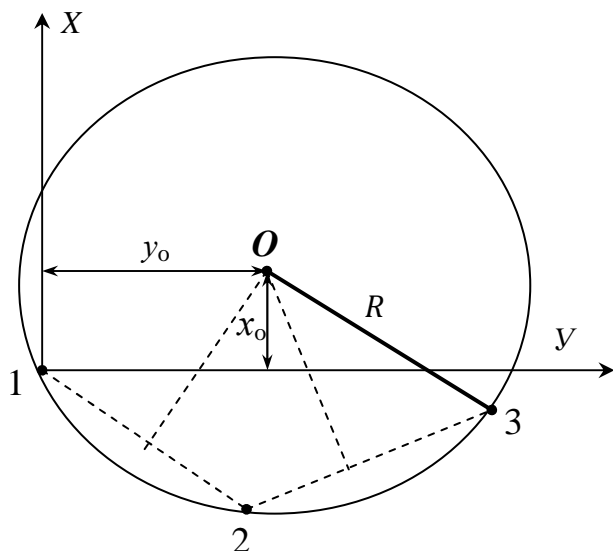


Рис. 54. Схема одностороннего координатного способа

Вычислив Δ , Δ_x и Δ_y , находим по формулам (45) координаты центра x_0 и y_0 , подставив которые в выражения (48), можно, при необходимости, определить радиус рассматриваемого сечения R :

$$\begin{aligned}(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 &= R^2, \\(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 &= R^2, \\(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 &= R^2,\end{aligned}\quad (48)$$

В результате исследования формул (45) с позиций теории ошибок построен график зависимости СКО m_{x_0} от соотношения y_2/x_2 (рис. 55). График наглядно иллюстрирует, что

для повышения точности определения координаты x_0 необходимо стремиться к уменьшению соотношения y_2/x_2 , в то время как СКО m_{y_0} соответствует практически ошибке определения y_2 .

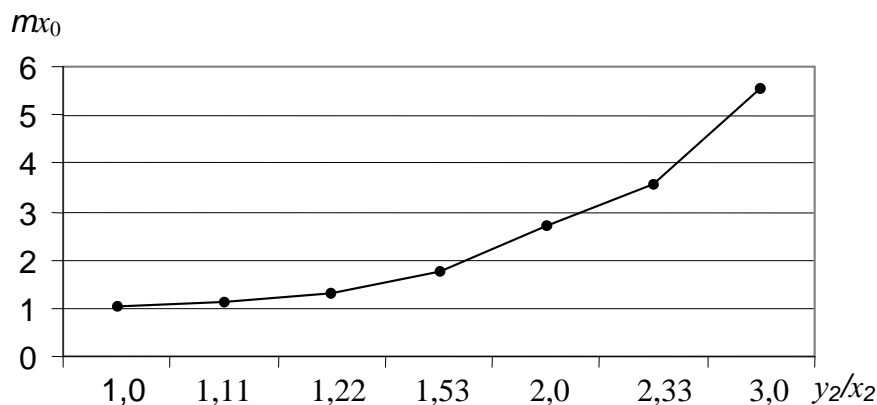


Рис. 55. График зависимости ошибки m_{x_0} от соотношения y_2/x_2

Графическое решение поставленной задачи заключается в определении положения центра O по трём точкам рассматриваемого сечения. Для этого достаточно нанести по прямоугольным координатам точки 1, 2 и 3 на план и в середине отрезков 1-2 и 2-3 восстановить перпендикуляры, в пересечении которых получим центр сечения O (см. пунктирные построения на рис. 54).

Кроме того, для повышения точности и надёжности получаемых результатов количество наблюдаемых точек можно увеличить. Так, для четырёх точек получим четыре значения координат центра, для пяти – десять значений и т. д. В этом случае перебираются все сочетания по 3 из имеющихся n точек. Для каждой тройки вычисляются параметры окружности, проходящей через эти три точки и затем найденные параметры усредняются.

Для строгого решения задачи в системе MatLab (Кетков Ю.Л., Кетков А. Ю., Шульц М.М. MatLab 7. Программирование, численные методы // «БХВ-Петербург». Санкт-Петербург, –2005, –752 с.) разработана специальная программа, которая подсчитывает координаты центров сечений, их радиусы, строит окружности, находит параметры и вычерчивает усреднённую и оптимальную окружность. На рис. 56 приведен пример такой программы для четырёх произвольных точек.

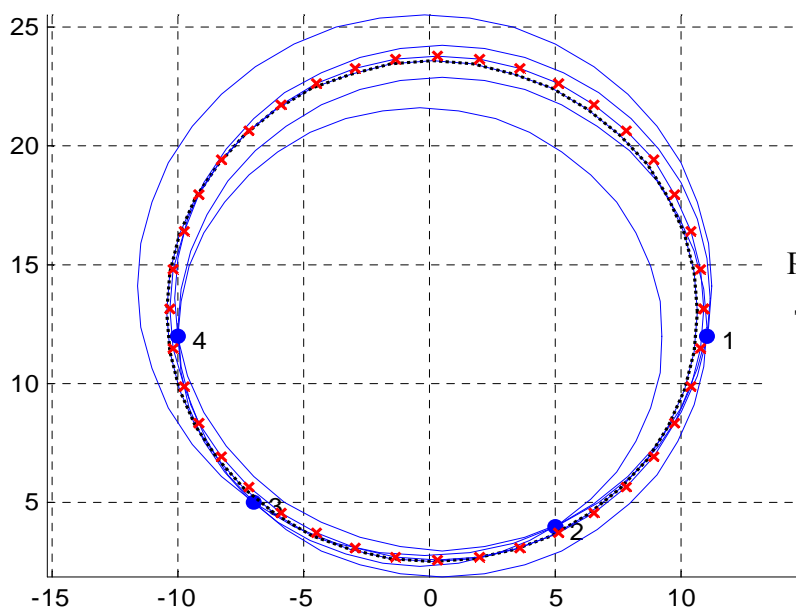


Рис. 56. Программа MatLab для 4 произвольных точек

Таким образом, односторонний координатный способ определения крена любого сооружения башенного типа заключается в том, что с одной точки стояния электронного тахеометра безотражательного типа определяют прямоугольные координаты не менее трёх точек нижнего, промежуточных и верхнего наблюдаемых сечений. По координатам этих точек вычисляют координаты центров наблюдаемых сечений и их радиусы. По координатам центров сечений можно определить частные и общий крен сооружения и его направление аналитически или графически. Кроме того, путём совмещения оптимальных окружностей нижнего, промежуточных и верхнего наблюдаемых сечений можно получить наглядное представление о пространственном положении исследуемого сооружения.

4.6.5. Односторонний координатный способ определения крена башни четырёхугольной формы

Односторонний координатный способ определения крена башни четырёхугольной формы с использованием электронного тахеометра может осуществляться следующим образом (рис. 57).

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

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 $\text{Выс-И} = 0$; высоту визирной цели $\text{Выс-Ц} = 0$; дирекционный угол $\text{ГУ} = 0^\circ$. 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 одинаковыми, а разность координат x_A и x_B должна равняться длине стороны башни AB .

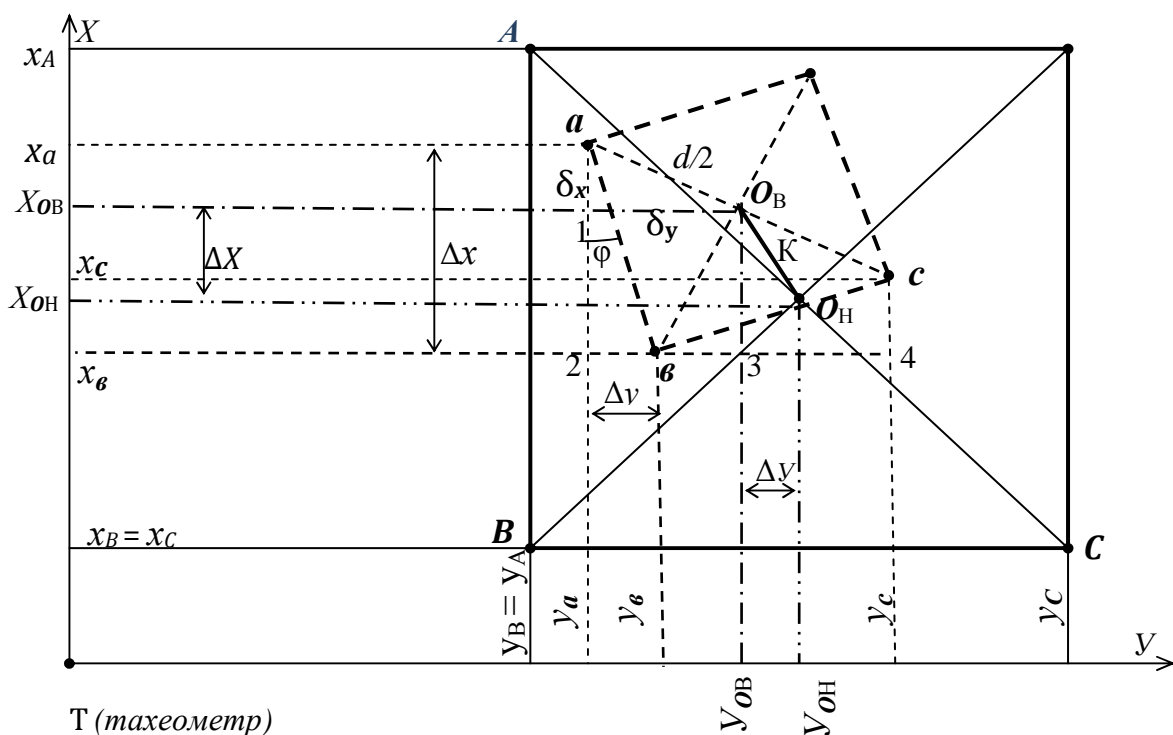


Рис. 57. Схема одностороннего способа определения электронным тахеометром крена башни квадратной формы

Вычисляют координаты центра O_H нижнего наблюдаемого сечения:

$$x_{O_H} = \frac{x_A + x_B}{2}, \quad y_{O_H} = \frac{y_A + y_B}{2} + \frac{BC}{2}. \quad (49)$$

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:

$$x_{O_B} = \frac{x_a + x_b}{2}, \quad y_{O_B} = \frac{y_a + y_b}{2} + \frac{ac}{2}. \quad (50)$$

Если координаты y_a и y_b не равны между собой, то имеет место скручивание верха башни относительно её низа на угол φ (рис. 57), который можно определить из треугольника $ab2$ по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_a - y_b}{x_a - x_b}, \quad \sin \varphi = \frac{\Delta y}{ab}, \quad \cos \varphi = \frac{\Delta x}{ab}, \quad (51)$$

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

На рис. 57 значение Δy имеет знак «минус». В этом случае координаты центра O_B верхнего наблюдаемого сечения равны:

$$x_{O_B} = x_a - \delta_x, \quad y_{O_B} = y_a + \delta_y, \quad (52)$$

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

$$\delta_x = \frac{d}{2} \cos(45^\circ + \varphi), \quad \delta_y = \frac{d}{2} \sin(45^\circ + \varphi), \quad (53)$$

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 путём решения прямоугольного треугольника $bc4$ 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 (75) вместо 45° следует использовать угол $b-a-c = \operatorname{arc} \sin bc/d = \operatorname{arc} \cos ab/d$, где d – диагональ этого прямоугольника.

По координатам центров O_B и O_H 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 ХТУ (рис.58), 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).

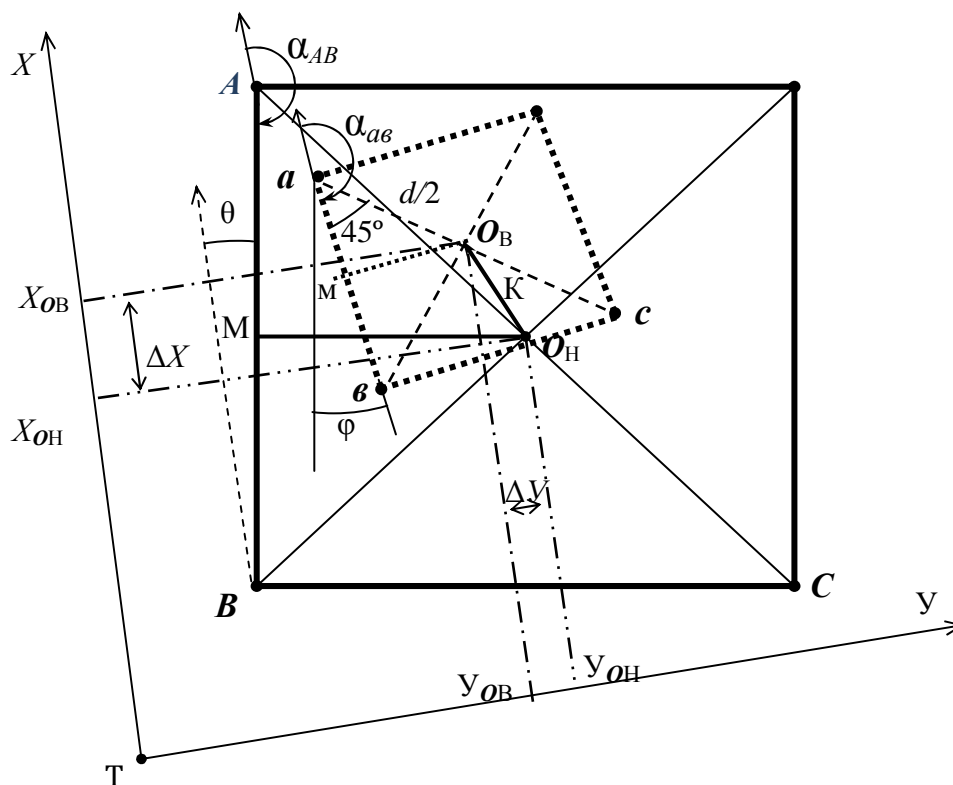


Рис. 58. Схема к определению крена башни квадратной формы в произвольной системе координат

Путём решения обратных геодезических задач находят дирекционные углы α_{AB} и α_{ab} , разность которых будет равна углу скручивания $\varphi = \alpha_{ab} - \alpha_{AB}$, причём отрицательное значение этой разности означает скручивание влево (как на рис. 58), 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:

$$x_{O_H} = x_M + MO_H \cos(\alpha_{AB} - 90^\circ), \quad y_{O_H} = y_M + MO_H \sin(\alpha_{AB} - 90^\circ), \quad (54)$$

$$x_{O_B} = x_m + mO_B \cos(\alpha_{ab} - 90^\circ), \quad y_{O_B} = y_m + mO_B \sin(\alpha_{ab} - 90^\circ),$$

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:

$$\begin{aligned}x_{O_H} &= x_A + AO_H \cos(\alpha_{AB} - 45^\circ), \quad y_{O_H} = y_A + AO_H \sin(\alpha_{AB} - 45^\circ), \\x_{O_H} &= x_B + BO_H \cos(\alpha_{AB} - 135^\circ), \quad y_{O_H} = y_B + BO_H \sin(\alpha_{AB} - 135^\circ), \\x_{O_B} &= x_a + aO_B \cos(\alpha_{ab} - 45^\circ), \quad y_{O_B} = y_a + aO_B \sin(\alpha_{ab} - 45^\circ), \\x_{O_B} &= x_b + bO_B \cos(\alpha_{ab} - 135^\circ), \quad y_{O_B} = y_b + bO_B \sin(\alpha_{ab} - 135^\circ).\end{aligned}\tag{55}$$

Для башенного сооружения прямоугольной (неквадратной) формы в формулах (77) 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 (54) и (55) 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 $x_{O_H} = 0,5(x_A + x_C)$, $y_{O_H} = 0,5(y_A + y_C)$, $x_{O_B} = 0,5(x_a + x_c)$, $y_{O_B} = 0,5(y_a + y_c)$.

4.6.6. Односторонний координатный способ определения крена башни треугольной формы

Односторонний координатный способ определения крена башни треугольной формы в системе осей сооружения с использованием электронного тахеометра может осуществляться следующим образом.

Измерения координат $x_{A,B,C}$, $y_{A,B,C}$ точек нижнего сечения башни и $x_{a,b,c}$, $y_{a,b,c}$ точек верхнего сечения выполняют с помощью электронного тахеометра, установленного в точке T (рис. 59), расположенной на одной из осей сооружения. Контролем правильного положения точки стояния тахеометра является равенство горизонтальных углов BTA и ATC .

Приняв координаты $x_T = 0$ и $y_T = 0$, а направление оси x совпадающим с направлением оси TO , выразим координаты нижнего ортоцентра O_H через результаты линейно-угловых измерений, которые в тахеометре преобразуются в координаты $x_{A,B,C}$, $y_{A,B,C}$:

$$\begin{aligned}x_o &= \frac{x_A + x_B + x_C}{3} = \frac{1}{3}(D_A \cos 0^\circ + D_B \cos \frac{\beta}{2} + D_C \cos \frac{\beta}{2}), \\y_o &= \frac{y_A + y_B + y_C}{3} = \frac{1}{3}(D_A \sin 0^\circ + D_B \sin \frac{\beta}{2} + D_C \sin \frac{\beta}{2}),\end{aligned}\tag{56}$$

где D_A, D_B, D_C – горизонтальные проложения, а β – горизонтальный угол. Причём, полученную координату x_0 можно проверить, сравнив её с суммой $D_A + d$, где $d = \frac{s}{\sqrt{3}}$.

Аналогичным образом по результатам угловых и линейных измерений могут быть найдены координаты верхнего ортоцентра O_B .

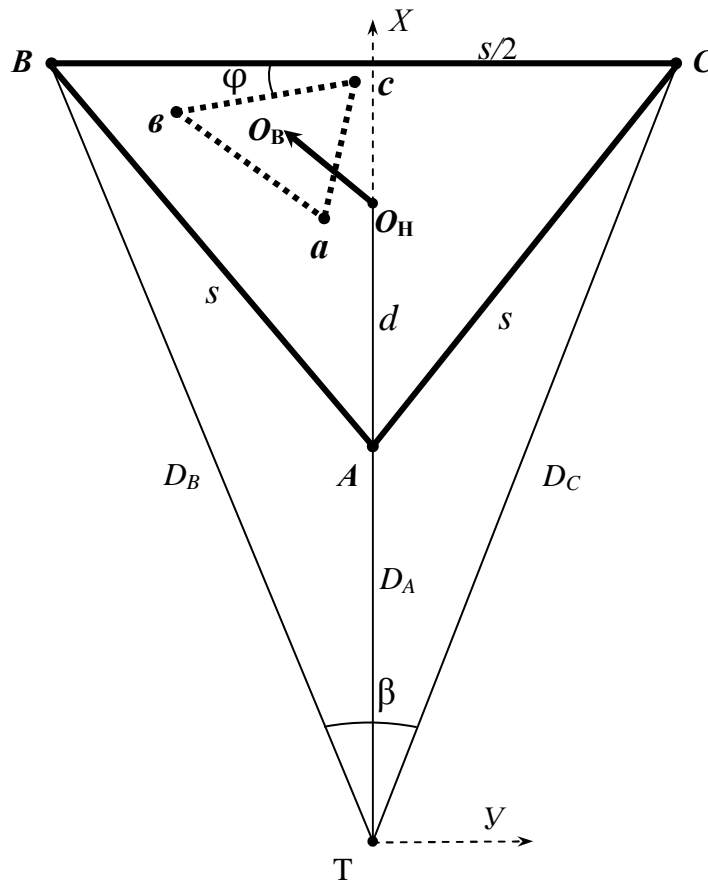


Рис. 59. Схема к определению координат ортоцентров верхнего и нижнего сечений башни

Для стандартной башни в результате исследований с позиций теории ошибок формул (56) составлена табл. 10, в которой значения в числителе соответствуют СКО m_{x_0} , а в знаменателе СКО m_{y_0} при $m_D = 5$ мм, $m_\beta = 2'', 5'', 15'', 30''$. Анализ данных этой таблицы позволяет констатировать, что при принятой выше схеме измерений точность определения координаты x_0 зависит только от точности линейных измерений и практически не зависит от точности угловых измерений. В свою очередь точность определения координаты y_0 зависит только от точности угловых измерений и не зависит от точности линейных измерений.

Средние квадратические ошибки координат ортоцентра m_{x_0} и m_{y_0}

$D_B, \text{ м}$	$s = 10,5 \text{ м}$				$s = 2,5 \text{ м}$			
	2''	5''	15''	30''	2''	5''	15''	30''
1,0H(70)	2,9/0,3	2,9/0,6	2,9/1,7	2,9/3,4	2,9/0,2	2,9/0,6	2,9/1,7	2,9/3,4
1,5H(105)	2,9/0,4	2,9/0,8	2,9/2,5	2,9/5,1	2,9/0,3	2,9/0,8	2,9/2,5	2,9/5,1
2,0H(140)	2,9/0,5	2,9/1,1	2,9/3,4	2,9/6,8	2,9/0,4	2,9/1,1	2,9/3,4	2,9/6,8
2,5H(175)	2,9/0,6	2,9/1,4	2,9/4,2	2,9/8,5	2,9/0,6	2,9/1,4	2,9/4,2	2,9/8,5
3,0H(210)	2,9/0,7	2,9/1,7	2,9/5,1	2,9/10,2	2,9/0,7	2,9/1,7	2,9/5,1	2,9/10,2

Для определения угла φ скручивания башни (рис. 59) по координатам $x_{A,B,C}$, $y_{A,B,C}$ и $x_{a,b,c}$, $y_{a,b,c}$ необходимо путём решения обратных геодезических задач найти дирекционные углы α_{AB} и α_{ab} , α_{BC} и α_{bc} , α_{AC} и α_{ac} , разность которых будет равна углу скручивания. Угол скручивания можно также вычислить по формуле

$$\sin \varphi = \frac{(y_{OB} - y_{OH} - y_c)\sqrt{3}}{s}, \quad (57)$$

где s – сторона верхнего треугольника; y_{OB} , y_{OH} , y_c – координаты у соответственно нижнего, верхнего ортоцентров и верхней точки c .

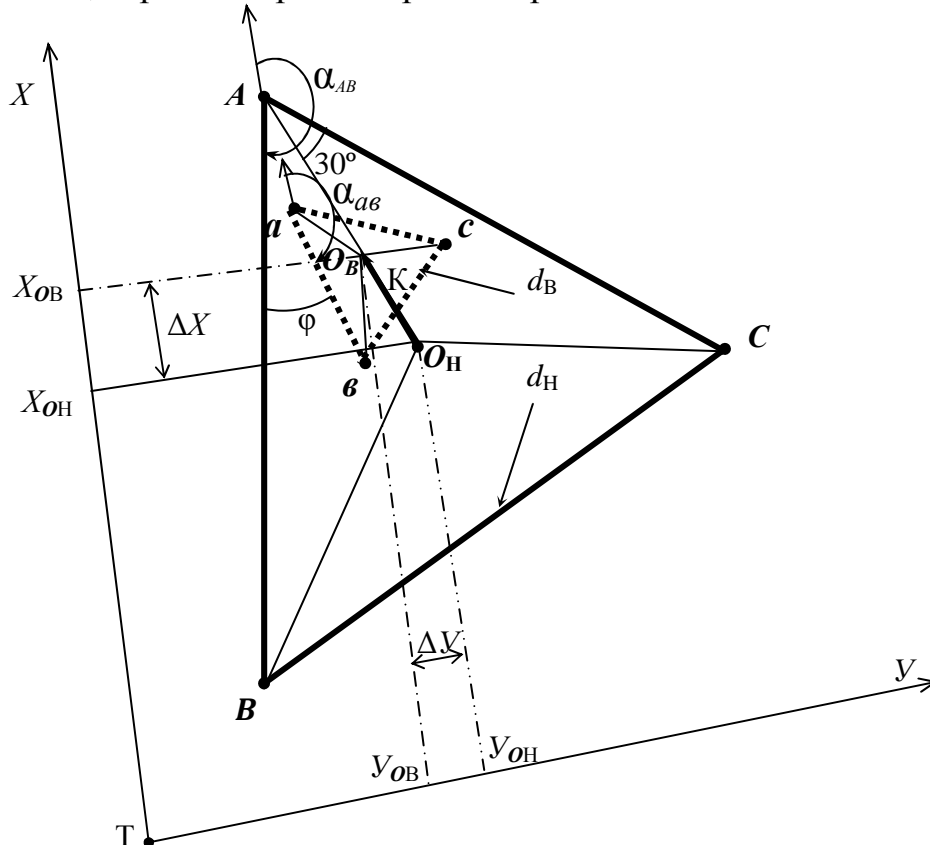


Рис. 60. Схема к определению крена башни треугольной формы в произвольной системе координат

Допустим, что для определения крена башни треугольной формы в произвольной системе ХТУ (рис. 60), 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.

Путём решения обратных геодезических задач находят дирекционные углы α_{AB} и α_{ab} , разность которых будет равна углу скручивания $\varphi = \alpha_{ab} - \alpha_{AB}$, причём отрицательное значение этой разности означает скручивание влево (как на рис. 60), положительное – вправо.

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

$$\begin{aligned}x_{O_H} &= x_A + AO_H \cos(\alpha_{AB} - 30^\circ), \quad y_{O_H} = y_A + AO_H \sin(\alpha_{AB} - 30^\circ), \\x_{O_H} &= x_B + BO_H \cos(\alpha_{AB} - 120^\circ), \quad y_{O_H} = y_B + BO_H \sin(\alpha_{AB} - 120^\circ), \\x_{O_B} &= x_a + aO_B \cos(\alpha_{ab} - 30^\circ), \quad y_{O_B} = y_a + aO_B \sin(\alpha_{ab} - 30^\circ), \\x_{O_B} &= x_b + bO_B \cos(\alpha_{ab} - 120^\circ), \quad y_{O_B} = y_b + bO_B \sin(\alpha_{ab} - 120^\circ),\end{aligned}\tag{58}$$

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 ещё и координаты точек C и c , то путём сравнения дирекционных углов сторон BC и bc , AC и ac можно ещё дважды определить угол скручивания φ , а по аналогии с формулами (58) дополнительно вычислить координаты нижнего и верхнего центров через координаты точки C , или найти их как среднее арифметическое:

$$\begin{aligned}X_{O_H} &= \frac{X_A + X_B + X_C}{3}, \quad Y_{O_H} = \frac{Y_A + Y_B + Y_C}{3}, \\X_{O_B} &= \frac{X_a + X_b + X_c}{3}, \quad Y_{O_B} = \frac{Y_a + Y_b + Y_c}{3}.\end{aligned}\tag{59}$$

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

4.7. Односторонний линейно-угловой способ

Под односторонним линейно-угловым способом будем понимать определение крена высокого сооружения (труба, колонна, стена и т. п.) в двух взаимно перпендикулярных направлениях путём выполнения линейных и угловых измерений с одной точки стояния прибора.

4.7.1. Определение крена дымовой трубы

В разделе 4.6 показано, как, установив тахеометр вначале в точке 1 (рис. 48а), измеряют с помощью его клавиши SDh горизонтальные проложения D_H и D_B и превышения $-h_H$ и h_B (рис. 48б), визируя на низ и верх трубы. В этом случае, прибавив к каждому D соответствующий радиус трубы R_H и R_B , можно вычислить крен трубы K_1 по направлению 1–O:

$$K_1 = (D_B + R_B) - (D_H + R_H), \quad (60)$$

причем знак плюс K_1 означает крен влево, то есть по направлению 1–O, а знак минус – вправо, то есть по направлению O–1 (рис. 61а).

Произведя аналогичные измерения с точки 2, можно вычислить по формуле (60) крен трубы K_2 по направлению O–2. Если измерить горизонтальные проложения D_i до промежуточных сечений, то кроме общего крена могут быть вычислены ещё и частные крены трубы.

В таком двустороннем линейном способе определения крена необходимо знать фактические радиусы наблюдаемых сечений трубы, от точности которых в значительной степени будет зависеть точность получаемых результатов.

Способы определения радиусов изложены в разделе 4.6.3

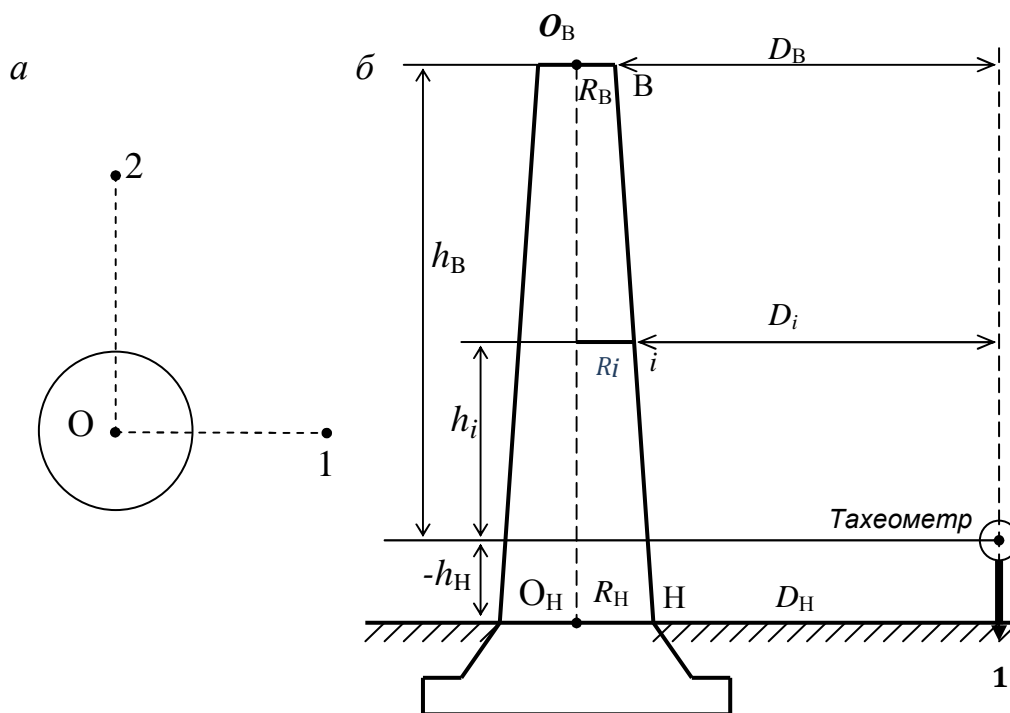


Рис. 61. Схема определения крена дымовой трубы путём линейных измерений

Если совместить рассмотренный линейный способ с определением произвольных направлений или магнитных азимутов на образующие трубы, то с одной точки (например, 1) можно определить не только радиусы трубы, но и её крен в перпендикулярном 1–*O* направлении.

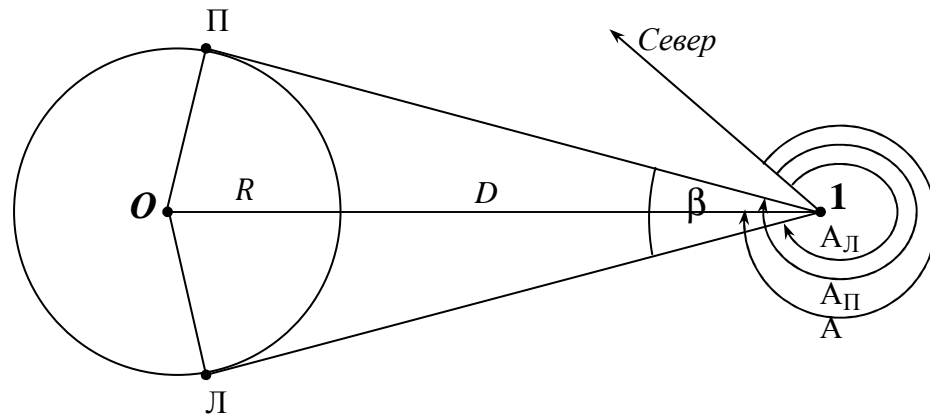


Рис. 62. Схема определения крена линейно-угловым способом

Методика выполнения одностороннего линейно-углового способа определения крена высоких сооружений башенного типа круглой формы заключается в следующем (рис. 62). Устанавливают тахеометр в точке 1, расположенной в месте, с которого видно всё тело трубы и на расстоянии, позволяющем визировать на её низ и верх. Измеряют направления (например, магнитные азимуты A_L и A_P) на точки Л и П образующей трубы нижнего и верхнего (при необходимости и промежуточных) наблюдаемых её сечений. Вычисляют угол $\beta = A_P - A_L$, вычисляют средний азимут $A = (A_P + A_L):2$ и, установив его на горизонтальном круге тахеометра, измеряют горизонтальное проложение D для каждого наблюдаемого сечения. По значениям D и β находят радиусы трубы каждого сечения. Сравнивая полученные суммы $(D + R)$ с суммой для нижнего сечения $(D_H + R_H)$, находят частные и общий крен трубы в линейной мере по направлению 1–*O*.

Разности средних направлений на промежуточные и верхний центры трубы с направлением на нижний центр трубы $(A - A_H)$ характеризуют частные и общий крен трубы в угловой мере Δ , причем знак плюс означает крен вправо, а знак минус – влево. По формуле

$$K = 0,49 \times \Delta \times 0,01 \times (D + R) \quad (61)$$

вычисляют частные и общий крен трубы в линейной мере (мм) по направлению, перпендикулярному 1–*O*. В этой формуле D и R в метрах, а Δ – в секундах.

Полученные значения кренов экстраполируют (по формуле 30) на всю высоту трубы (до дна фундамента) и вычисляют полное значение крена K_P

$$K_{\Pi} = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}, \quad (62)$$

где K_1 и K_2 – экстраполированные значения общих кренов верха трубы соответственно по направлению 1– O и по перпендикулярному к 1– O направлению.

Наиболее наглядное представление о пространственном положении наблюдаемого сооружения даёт геометрическая интерпретация результатов измерений. Во-первых, это построенные по значениям горизонтальных проложений D и превышений h разрезы, характеризующие отклонения оси трубы от вертикали по направлениям, перпендикулярным наблюдаемым (см. пример на рис. 35). Во-вторых, это схема в крупном масштабе, характеризующая величины и направления общих K_1 и K_2 и полного K_{Π} кренов верха трубы.

Такую схему (рис. 63) применительно к нашему примеру на рис. 62 можно построить следующим образом. Откладывают от точки O по направлению $O-1$ величину $-K_1$ или по направлению 1– O величину $+K_1$. Откладывают от точки O по перпендикулярному к $O-1$ направлению вправо $+K_2$ или влево $-K_2$. Диагональю построенного на сторонах K_1 и K_2 прямоугольника будет полный крен K_{Π} с соответствующим магнитным азимутом $A_{1,2,3,4}$. Эти построения можно выполнить также с помощью описанной выше разработанной нами программы «План».

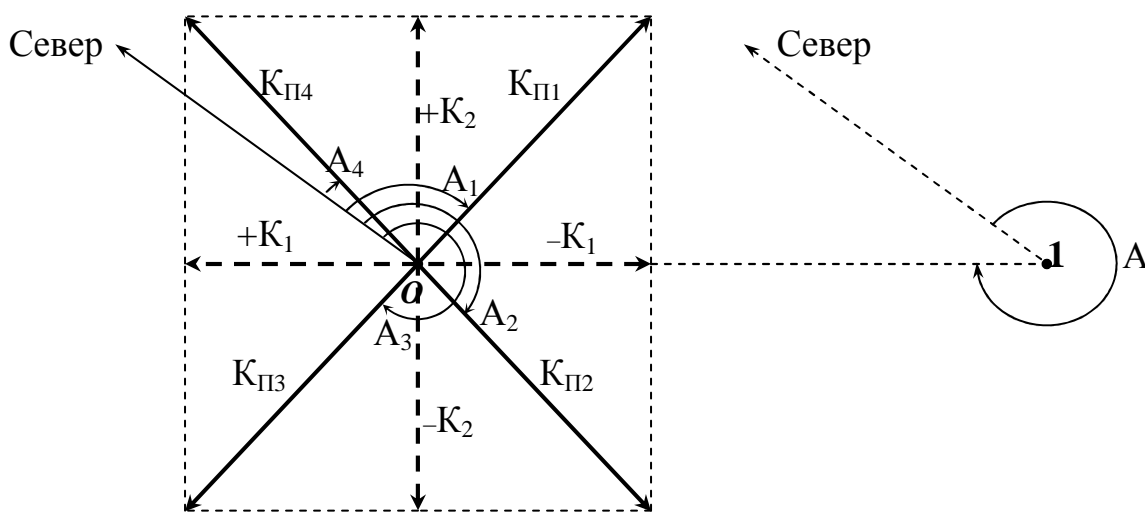


Рис. 63. Схема графического способа определения величины и направления полного K_{Π} крена

В общем виде точность линейно-углового способа определения крена будет зависеть от точности измерений угла β и горизонтального проложения D .

4.7.2. Определение крена здания

Для контроля вертикальности стен сооружения одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях необходимо поступать следующим образом. Устанавливают тахеометр в точке 1 (рис. 64) перед одной из стен примерно в створе со стеной ей перпендикулярной. Визируют на крайнюю нижнюю точку стены Н, измеряют D_H , $-h_H$ и устанавливают на горизонтальном круге отсчёт $0^{\circ}00'00''$. Визируют последовательно на крайние промежуточные i и верхнюю В точки стены, измеряя D_i , h_i , D_B , h_B и беря отсчёты по горизонтальному кругу γ_i , γ_B . Равенство горизонтальных проложений $D_H = D_i = D_B$ укажет на вертикальное положение фасадной части стены. В противном случае по значениям D и h можно построить профиль (рис. 64а), наглядно иллюстрирующий пространственное положение строительной конструкции.

Отсчёты γ по горизонтальному кругу тахеометра будут характеризовать отклонения в градусной мере наблюдаемых точек от вертикали по направлению, перпендикулярному первоначальному. При этом, если γ больше 0° , то наблюдаемая точка отклоняется от вертикали вправо, а если γ меньше 360° – влево.

Переход от градусной меры к линейным значениям отклонений осуществляется по формуле

$$K = D_B \gamma / \rho, \quad \rho = 206265'' . \quad (63)$$

Результаты наблюдений для наглядности удобно представлять в виде профиля (рис. 64б).

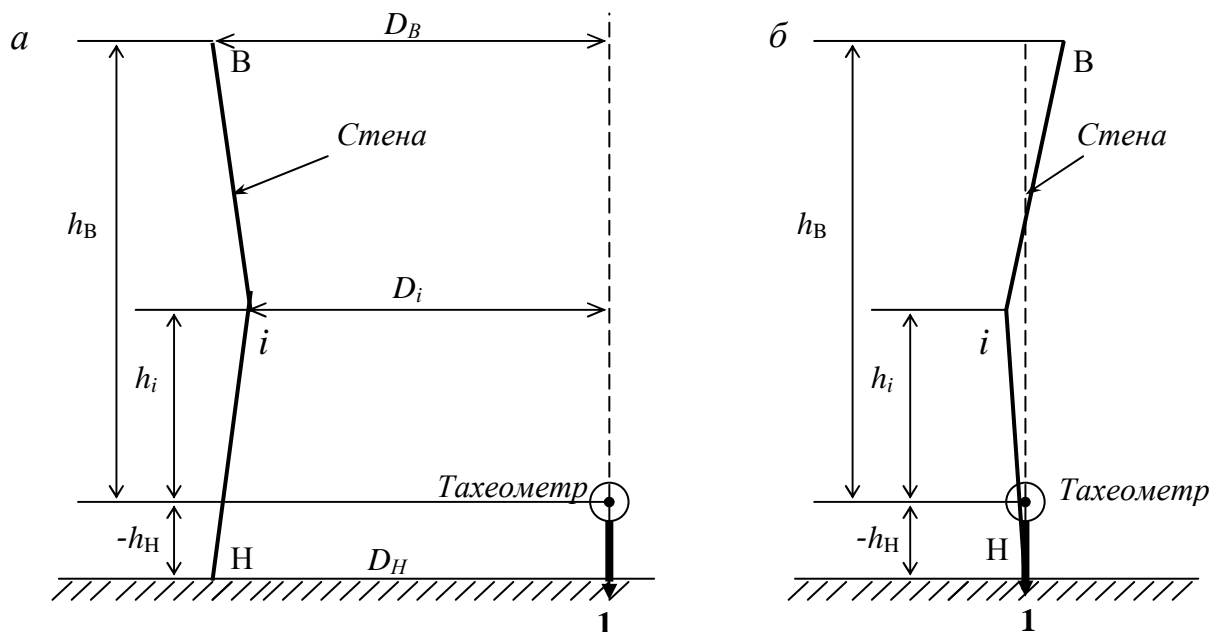


Рис. 64. Схема определения вертикальности стен путём линейно-угловых измерений

4.8. Фотографический способ

Наличие цифровых фотоаппаратов, совместимых с персональным компьютером, и программ редактирования фотографических изображений, ArchiCAD 11, 12, 15 и др. позволяет рекомендовать различные варианты фотографического способа геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций в сочетании со способом вертикального проектирования.

Так, например, для контроля вертикальности высоких зданий и сооружений башенного типа достаточно сфотографировать это сооружение и вывести его изображение на экран монитора ПК. При этом необходимо решить две задачи. Во-первых, на снимке должна присутствовать вертикальная так называемая референтная линия, от которой будут производиться все необходимые измерения. И, во-вторых, снимок должен быть масштабирован для получения результатов измерений в метрической системе единиц (метры, сантиметры или миллиметры).

4.8.1. Способы формирования и использования референтных прямых

Референтной прямой принято называть линию, которая с достаточной степенью точности совмещена (или ориентирована с известными параметрами переноса) с осями выверяемого объекта.

Референтная прямая может быть как реальной, так и воображаемой. Например, определение крена дымовой трубы способом направлений предусматривает определение отклонения оси трубы от воображаемой вертикальной линии.

Такой же воображаемой может быть горизонтальная линия при нивелировании, например, подкрановых путей мостового крана с целью проверки их горизонтальности или использование так называемого фотограмметрического створа при проверке прямолинейности этих путей.

Формирование горизонтальных референтных прямых с целью геодезического контроля прямолинейности и соосности строительных конструкций может осуществляться способом струнного створа, оптического створа, лучевого и фотограмметрического створа. Здесь в качестве створной линии используется тонкая стальная проволока (леска, шпагат), визирный луч зрительной трубы теодолита (нивелира, или другого оптического устройства), либо прямая линия задаётся осью ориентированного пучка световых лучей (в частности, осью лазерного пучка).

Что касается вертикальной референтной прямой, то в качестве её может служить нить свободно подвешенного шнурового отвеса, от которой производят все необходимые измерения.

Так, например (рис. 65), если рядом с колонной подвесить отвес и сфотографировать колонну вместе с нитью отвеса, то, измерив на снимке расстояния от отвеса до оси колонны вверху и внизу, можно определить её крен. Масштабировать снимок можно по известной ширине колонны.

Другой способ формирования референтной прямой предусматривает использование приборов вертикального проектирования, таких, как *FG-L100* (прибор оптический) и *LV1* (прибор лазерный).

При строительстве сооружений в качестве вертикальной референтной прямой может служить трос лебёдки строительного крана (рис. 66) с грузом на конце. С увеличением масштаба снимка этот трос четко различим на фотографии.

По команде наблюдателя трос может быть установлен в требуемое положение относительно сооружения.



Рис. 66. Трос лебёдки как референтная прямая

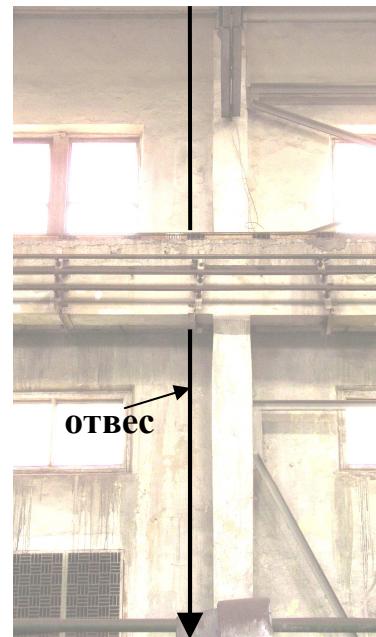


Рис. 65. Отвес как референтная прямая

Масштабирование снимков может осуществляться, например, по известным размерам элементов этого сооружения.

Одним из способов формирования референтной прямой может служить нить шнурового отвеса, расположенного перед объективом фотоаппарата (рис. 67). Формируемую с помощью отвеса референтную прямую рекомендуется располагать по оси контролируемого элемента сооружения или в непосредственной близости

от неё и как можно дальше от объектива фотокамеры.

Ниже приведены две фотографии телебашни и нити отвеса (Рис. 68). Одна фотография выполнена при нормальном расположении сооружения, другая – специально выполнена при наклонном расположении изображения.

Измеренные расстояния от отвеса до оси башни поверху и понизу в обоих случаях оказались попарно равными между собой. Это является одним из достоинств способа формирования с помощью отвеса вертикальной референтной прямой.

Другой отличительной особенностью способа является его универсальность и возможность получения максимума информации о пространственном положении как самого сооружения, так и любого его элемента.

В общем виде референтную прямую можно получить следующим образом. Покажем это на примере дымовой трубы. Устанавливают теодолит в точке 1 (рис. 69а) и производят вертикальное проектирование хорошо заметной верхней точки М на горизонтальную нивелирную рейку, закрепленную внизу трубы (рис. 69б). Фиксируют на рейке отсчёт М' .



Рис. 67. Отвес перед объективом

Затем сооружение фотографируют так, чтобы на фотографии были четко видны точка М и рейка.

Эту фотографию выводят на экран монитора и на ней проводят линию, соединяющую точки М и М' (рис. 69б). В дальнейшем все измерения можно производить от этой линии или от произвольной линии АВ, ей параллельной.

Измерения заключаются в определении расстояний от референтной прямой АВ до левого и правого края образующей трубы в

верхнем $l_{в}$, нижнем $l_{н}$, $l'_{н}$ и любых других промежуточных сечений трубы 1, 2, 3 ... Нивелирная рейка, помимо прочего, служит для масштабирования снимка. Сами измерения l_i можно производить с помощью обычной линейки с миллиметровыми делениями, с помощью горизонтальной линейки на экране монитора или, при наличии программы редактирования фотографических изображений, с помощью стрелки-курсора.

Для каждого сечения вычисляют расстояние от референтной прямой до центра трубы $l_{иц}$ по формуле



Рис. 68 . Фотография с отвесом перед объективом

$$l_{иц} = l_i + 0,5(l'_i - l_i). \quad (64)$$

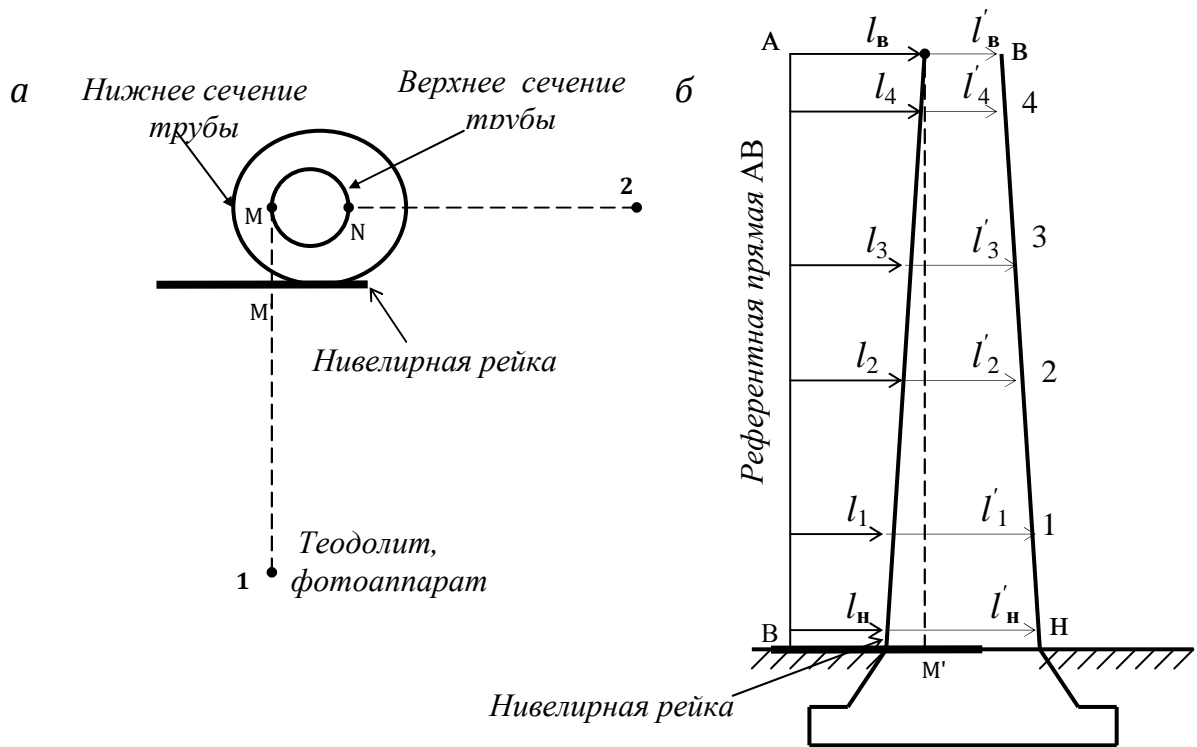


Рис. 69. Пример формирования вертикальной референтной линии

Сравнивая полученные расстояния между собой можно судить о крене трубы и об отклонениях её оси от вертикали по направлению, перпендикулярному направлению фотографирования. Для получения полного крена трубы и его направления надо все действия повторить с точки 2.

Определение крена сооружения башенного типа треугольной формы описанным выше фотографическим способом в сочетании с вертикальным проектированием можно выполнить следующим способом.

Устанавливают теодолит на некотором расстоянии от башни и производят вертикальное проектирование теодолитом при двух положениях вертикального круга хорошо заметной верхней точки M_B сооружения на горизонтальную нивелирную рейку, закрепленную внизу сооружения. Фиксируют на рейке отсчёт M_H (рис. 70). Затем сооружение фотографируют так, чтобы на фотографии были четко видны точка M_B и рейка, которая в дальнейшем служит для масштабирования снимка. Эту фотографию выводят на экран монитора, где воображаемая линия $M_B M_H$ будет являться референтной.

Программа редактирования фотографических изображений предусматривает наличие прямоугольной системы координат, пользовательское начало которой $(0,0)$ может быть установлено в любой, например, в левой верхней точке снимка. Осью x является левый край снимка, а осью y – его верхний край. Подводя последовательно стрелку-курсор к точкам M_B и M_H , сразу читают на экране монитора значения расстояний y_B и y_H в некоторых услов-

ных единицах. Если эти расстояния одинаковы, то ось x (условная референтная прямая) параллельна $M_B M_H$.

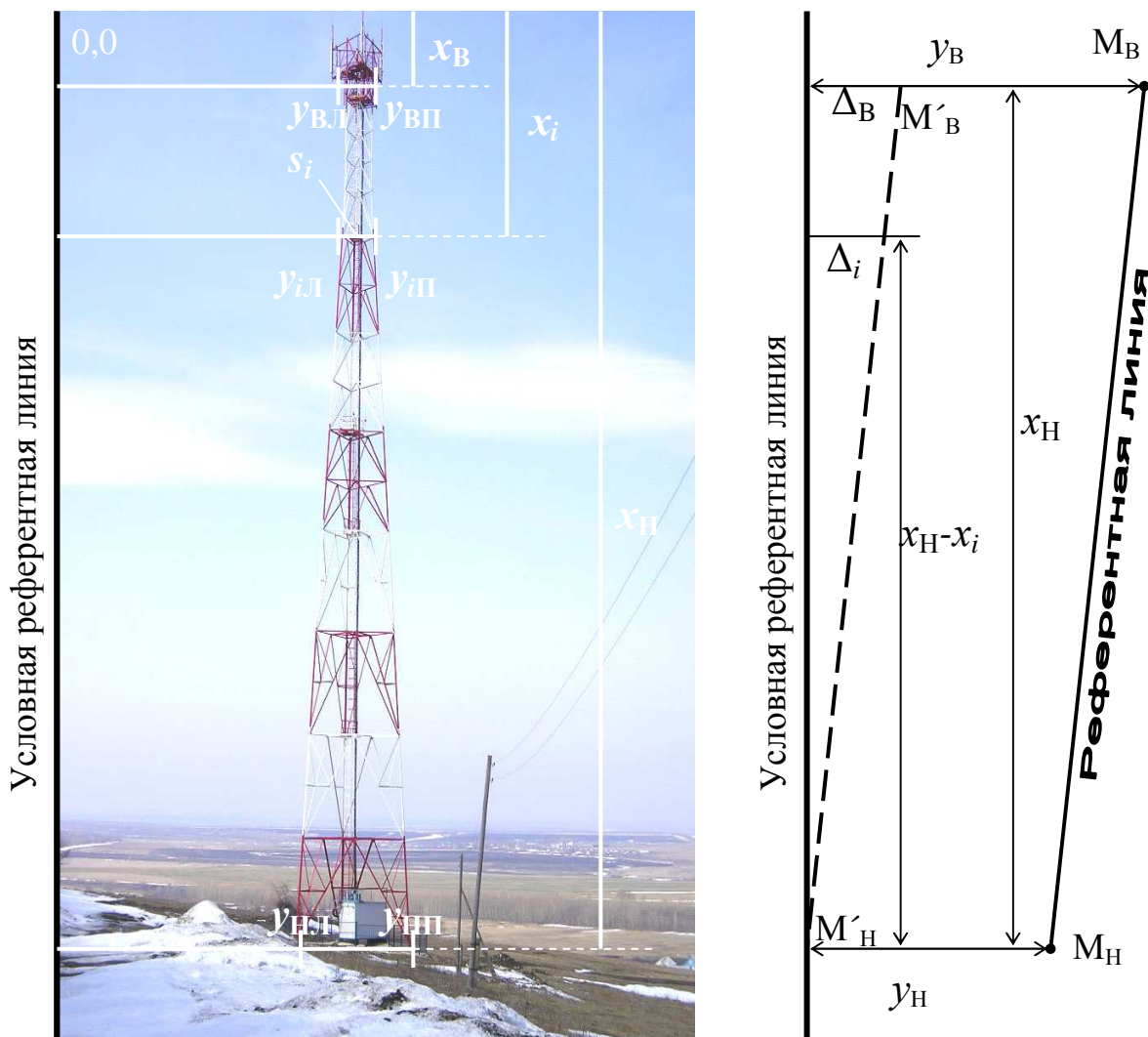


Рис. 70. Схема формирования и использования референтной линии

В дальнейшем все измерения производят от осей x и y . Измерения заключаются в определении расстояний от условной референтной линии до левого и правого края башни в верхнем $u_{ВЛ}$, $u_{ВП}$, нижнем $u_{НЛ}$, $u_{НП}$ и любых других $u_{iЛ}$, $u_{iП}$ промежуточных сечений трубы. Одновременно с этим фиксируют вертикальные расстояния x_B , ..., x_i , ..., x_H . Результаты измерения фотографии башни (рис. 70) по 11 её сечениям, расположенным на разной высоте, представлены в табл. 11.

Для каждого сечения были подсчитаны разности $(u_{НП} - u_{НЛ})$ и найдены расстояния y_0 от условной референтной прямой до оси сооружения по формуле

$$y_0 = y_{\text{Л}} + \frac{y_{\text{П}} - y_{\text{Л}}}{2} . \quad (65)$$

Т а б л и ц а 11

Результаты измерения фотографии башни

Сече- ния	Отмет- ка, м	S_i , мм	$y_{\text{Л}}$	$y_{\text{П}}$	x	$y_{\text{П}} - y_{\text{Л}}$	y_0	Цена деления l , мм
1	0	10500	289	424	925	135	356,5	77,78
2	8	9433	296	417	820	121	356,5	77,96
3	16	8367	304	411	718	107	357,5	78,20
4	24	7300	312	404	615	92	358,0	79,35
5	32	6233	320	398	514	78	359,0	79,91
6	40	5167	328	392	414	64	360,0	80,73
7	48	4100	336	386	318	51	360,5	80,39
8	56	3033	343	381	222	38	362,0	79,82
9	60	2500	347	378	178	31	362,5	80,64
10	65	2500	348	379	116	31	363,5	80,64
11	72,5	2500	347	379	68	31	363,5	80,64

Сравнивая полученные значения y_0 между собой судят об отклонениях оси башни от вертикали на разных уровнях. В нашем примере общий крен башни составляет $363,5(\text{сечение } 11) - 356,5(\text{сечение } 1) = 7$ условных единиц, умножив которые на цену одной условной единицы (цену деления), можно выразить его в миллиметрах.

Цену деления l можно определить, поделив известную длину отрезка в мм на её длину в условных единицах. В нашем примере отрезками известной длины были проектные длины сторон S_i треугольников разных сечений, поэтому l определялась по формуле

$$l = \frac{S}{y_{\text{П}} - y_{\text{Л}}} . \quad (66)$$

Результаты определения l , представленные в табл. 11, находятся в пределах $77,78 - 80,64$ мм, то есть отличаются всего на $2,86$ мм. Среднее значение цены деления составило $79,64$ мм, поэтому общий крен башни в нашем примере будет равен $7 \times 79,64 = 557,48$ мм.

Рассмотренный выше пример предусматривал параллельность референтной линии $M_{\text{В}}M_{\text{Н}}$ левому краю фотографии (оси x). Если на фотографии

(рис. 70) u_B не равно u_H , отличаясь на $\Delta_B = u_B - u_H$, то в результате измерений $u_{iЛ}$, $u_{iП}$ необходимо вводить поправки Δ_i со знаком, противоположным знаку Δ_B , вычисляя их по формуле

$$\Delta_i = \Delta_B \frac{x_H - x_i}{x_H} \quad (67)$$

В заключение отметим, что рассмотренный выше пример использования фотоснимка и программы редактирования фотографических изображений доказал возможность применения фотографического способа контроля вертикальности сооружений башенного типа треугольной формы. В настоящее время современная фотоаппаратура позволяет выполнять фотоснимки с разрешением 30 мегапикселей и более. Поэтому, значительно повысить точность получаемых результатов можно путём использования фотоснимков высокого разрешения.

Глава 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительными конструкциями, определяющими устойчивость зданий и сооружений промышленного предприятия, являются стены, колонны, балки, фермы и т. д.



Рис. 71. Один из производственных корпусов

Геодезические съёмки таких конструкций согласно [3] должны проводиться не реже одного раза в 3 года, а конструкций, в которых обнаружены деформации, трещины или другие повреждения – немедленно.

Исследование пространственного положения строительных конструкций предусматривает, помимо прочего, выполнение различного вида геодезических измерений (рис. 71): 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.

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.

Однако здесь 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 подъёма к оголовку колонн. Для устранения этого недостатка авторами монографии был разработан лазерно-зеркальный способ для производства таких измерений дистанционно.

5.1. Лазерно-зеркальное устройство для дистанционных измерений

Сущность разработанного нами лазерно-зеркального устройства (ЛЗУ) заключается в том, что с помощью удлинительной штанги в точках замера устанавливают плоское зеркало, расположенное под углом 45° к направлению лазерного пучка рулетки, которая также закреплена на штанге на известном расстоянии S от зеркала (рис. 72). 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 «Полилюкс» с размерами 80×120 мм и толщиной 3 мм.

Рулетка *HD 150* (рис. 72) имеет кнопку (3) “вкл/выкл”, цилиндрический уровень (4), дисплей (5), кнопку управления (6), кнопку подсветки дисплея (7). Рулетка предназначена для измерения расстояний (2) от 0,3 до 30 м без отражателя и до 150 м – с отражателем, определения площадей (10) и объёмов (8), определения высоты сооружений (9) и производства min/max

измерений (1). Вес рулетки 430 г (с четырьмя батарейками типа АА), её размеры 170x70x46 мм.

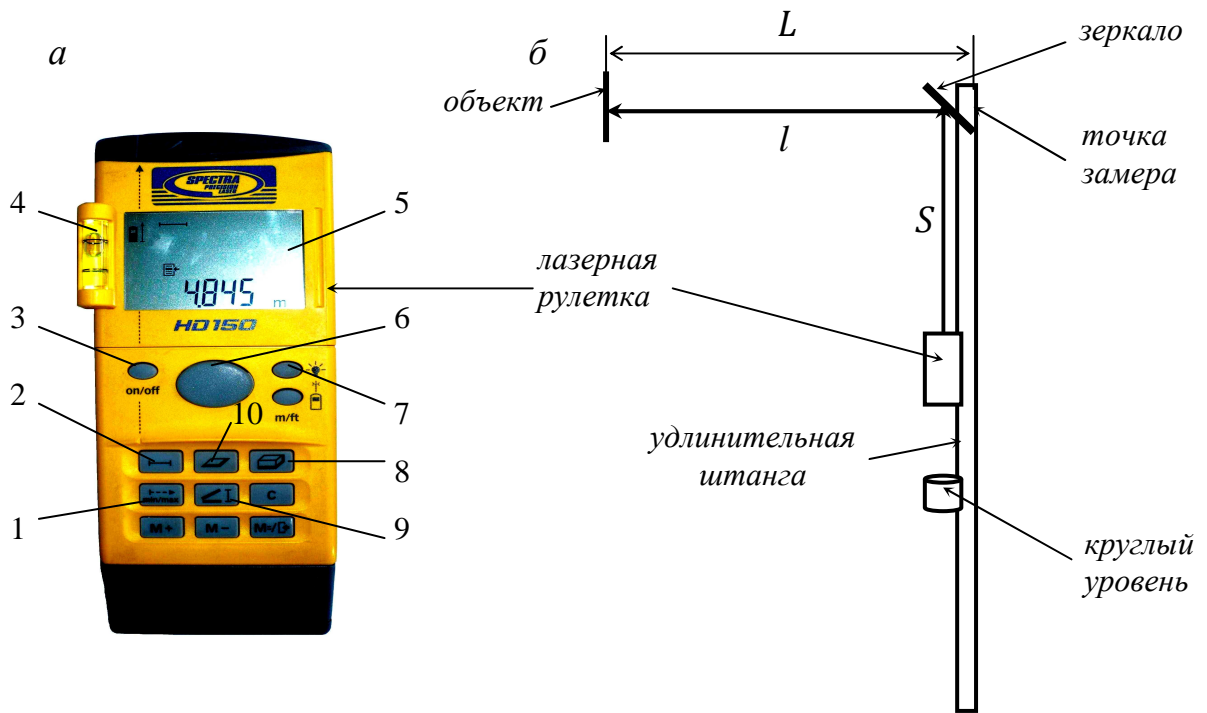


Рис. 72. Лазерная рулетка *HD 150* (а) и схема лазерно-зеркального устройства ЛЗУ (б)

Устройство работает следующим образом (рис. 73). С помощью удлинительной штанги устанавливают зеркало на уровне нижнего пояса фермы, оголовка колонны или на подкрановом рельсе. Включают рулетку и направляют отраженный от зеркала лазерный пучок на боковую грань соседней фермы (рис. 73а), на боковую грань колонны (рис. 73б), на отражатель, установленный на противоположном рельсе (рис. 73в) или на отражатель, последовательно устанавливаемый на боковых гранях фермы и колонны (рис. 73г). Вертикальность штанги контролируется по круглому уровню.

Рулетка выдаст на дисплее результат, равный сумме расстояний от неё до зеркала S и от зеркала до отражающей поверхности l , до которой производятся измерения (рис. 72). 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.

У ЛЗУ длина штанги и S могут меняться в зависимости от расстояния от наблюдателя до точки замера. Поэтому перед началом работы с ЛЗУ следует определить постоянное слагаемое S' . Для этого на местности необходимо разбить несколько базисов L_1, L_2, L_3, \dots и измерить их лазерной рулеткой.

После чего эти базисы измеряют с помощью ЛЗУ с той же самой рулеткой. Разности полученных с помощью ЛЗУ результатов D_1, D_2, D_3, \dots и длин базисов L_1, L_2, L_3, \dots должны быть равны между собой и представлять постоянное слагаемое S' , которое зависит от расстояния S и поправки за положение зеркала относительно точки замера.

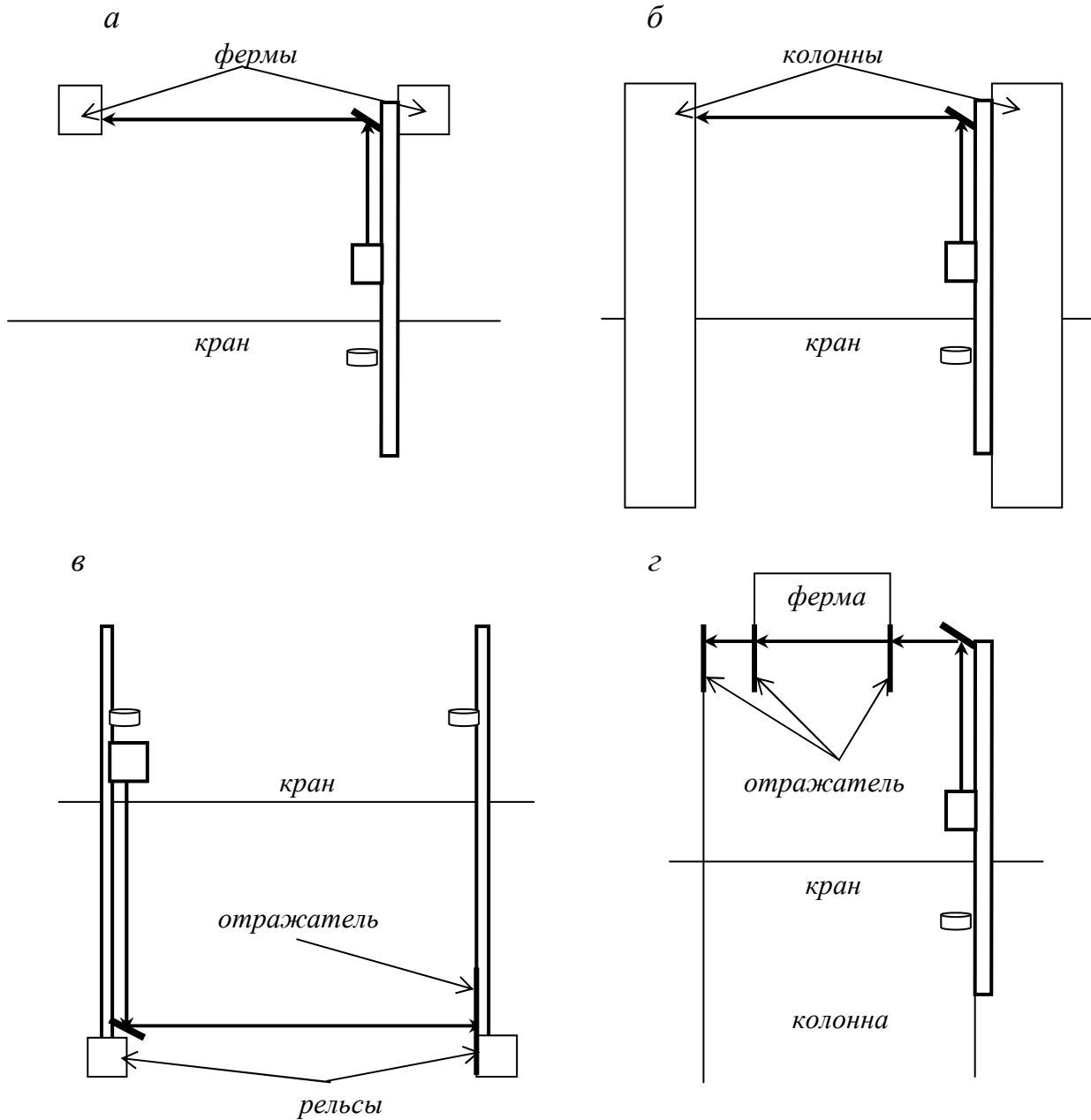


Рис. 73. Схемы измерений лазерно-зеркальным устройством

Результаты лабораторных и производственных испытаний подтверждают возможность использования лазерно-зеркального устройства для дистанционных измерений недоступных и труднодоступных расстояний с точностью, заявленной в паспорте рулетки 2-3 мм.

5.2. Определение расстояния между фермами в середине пролёта

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

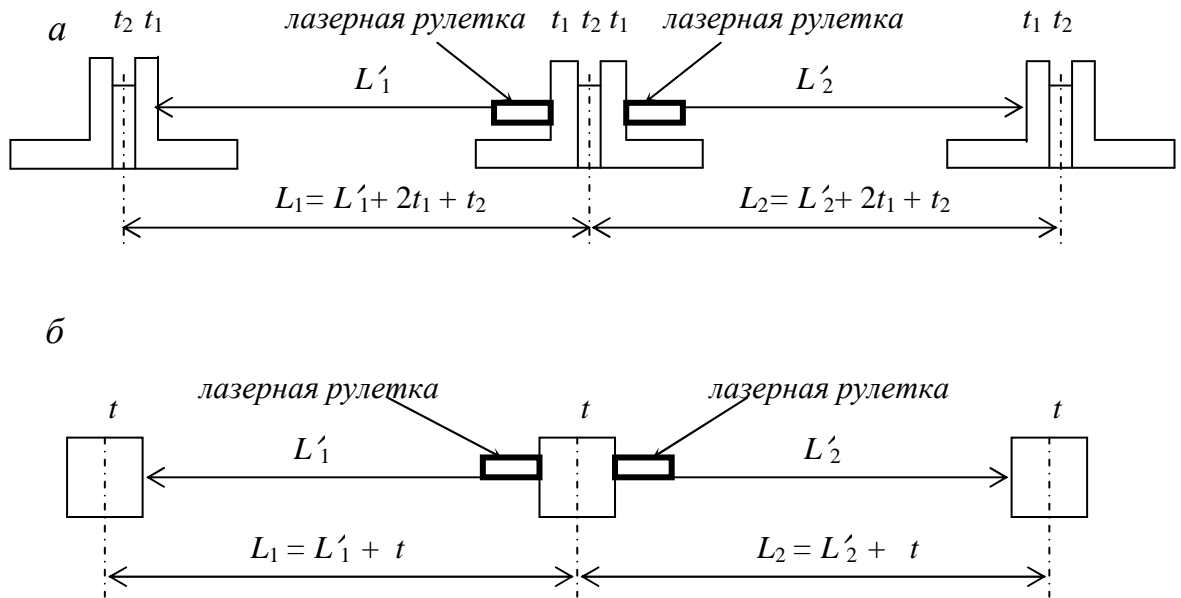


Рис. 74. Схема измерения расстояний между фермами лазерной рулеткой

Первый способ предусматривает использование обычной рулетки. Он заключается в том, что один конец рулетки с помощью специальной трубки или магнитного фиксатора закрепляется 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 пролёта может производиться с помощью лазерной рулетки непосредственно или дистанционно. Так, если нижний пояс ферм состоит из двух уголков и межуголкой плиты (рис. 74а), 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 межуголкой плиты t_2 , в результате чего получим искомые расстояния между осями ферм L_1 и L_2 .

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. 75а) или к боковой грани фермы (рис. 75б).

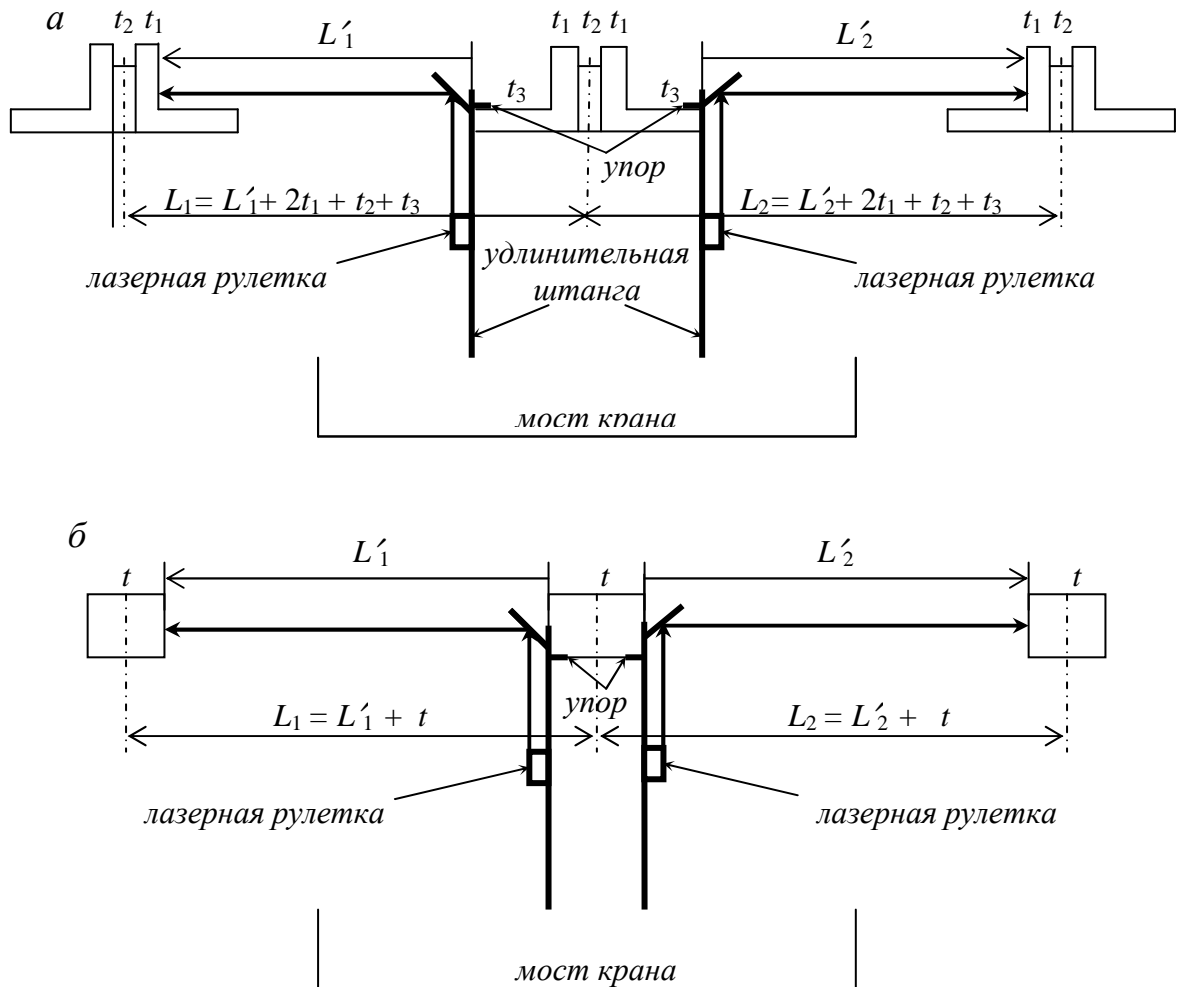


Рис. 75. Схема измерения расстояний между фермами с помощью ЛЗУ:

а – штанга ЛЗУ прикладывается к уголку; *б* – к боковой грани фермы

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 получают расстояния L'_1 и L'_2 , введя в которые соответствующие поправки находят искомые расстояния между осями ферм L_1 и L_2 (рис. 75*а*, *б*).

5.3. 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. 76), причём одним исполнителем.



Рис. 76. 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. 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. 77). 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 $Л_H$, $П_H$ и поверху $Л_B$, $П_B$, можно вычислить расстояние L между осями колонн по формуле

$$L = L' + (Л_B + П_B) - (Л_H + П_H)/2. \quad (68)$$

Аналогичным образом производится измерение расстояний между осями колонн в ряду с введением в L' поправки за ширину колонны (аналогично таковой на рис. 75б) и за длину упора, если он имел место.

Определение недоступных и труднодоступных расстояний может осуществляться косвенным способом с помощью электронного тахеометра, ос-

нованным на использовании его клавиши SDh и теоремы косинусов. Методика измерений заключается в следующем (рис. 78).

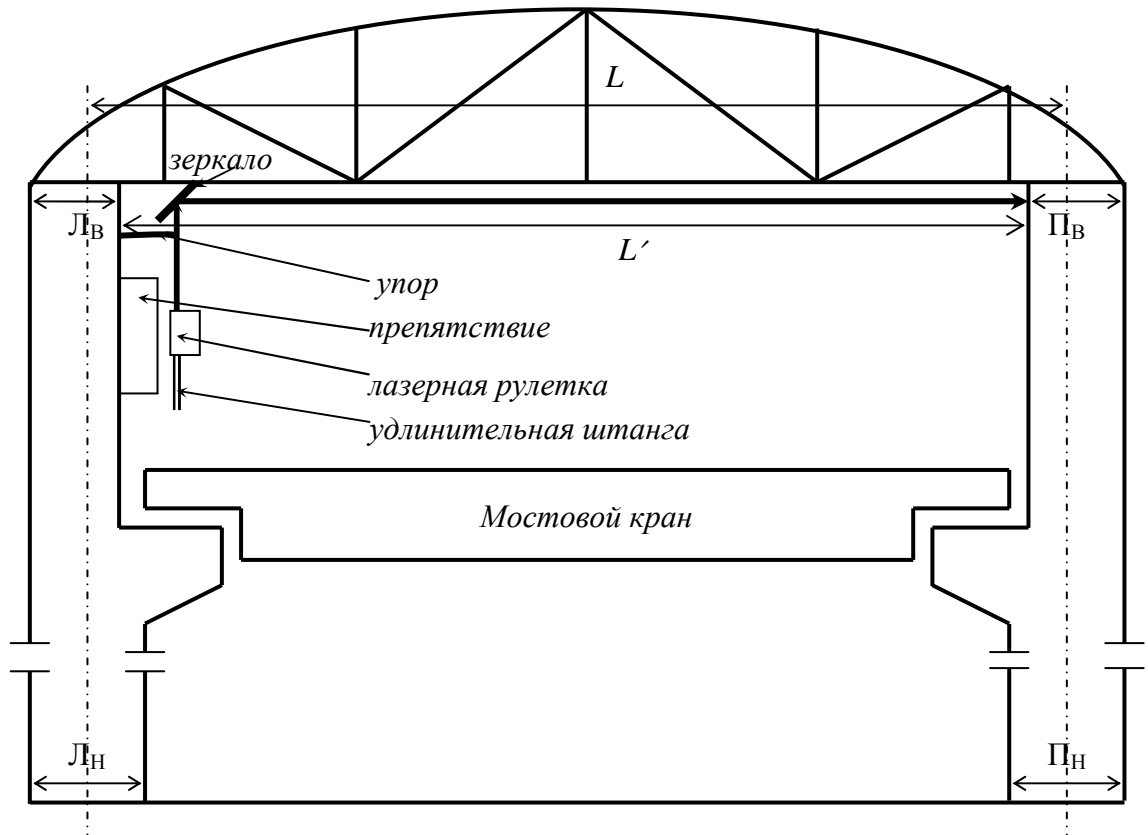


Рис. 77. Схема измерения расстояний между осями колонн в пролёте

Устанавливают тахеометр в некоторой точке Т и ориентируют его по линии ТА. С помощью клавиши SDh выводят на экран дисплея горизонтальное проложение D_A и превышение h_A . Визируют на точку В и читают на экране значение горизонтального угла β , а при включённой клавише SDh – значения D_B и h_B . Горизонтальное проложение $ab = L$ наклонной линии АВ вычисляют по формуле косинусов:

$$L^2 = D_A^2 + D_B^2 - 2D_A D_B \cos \beta . \quad (69)$$

Точность определения L будет зависеть от точности измерения D_A , D_B и горизонтального угла β . В результате исследований формулы (69) с позиций теории ошибок построены графики зависимости СКО m_L для различных значений $L = 5; 10; 20; 30; 40$ м и различных соотношений L/D от 2,0 до 0,01 при $m_D = 5$ мм и $m_\beta = 5''$ (рис. 79). Пределы значений L от 5 до 40 м выбраны исходя из опыта геодезического контроля пространственного положения строительных конструкций промышленных предприятий Нижегородской области.

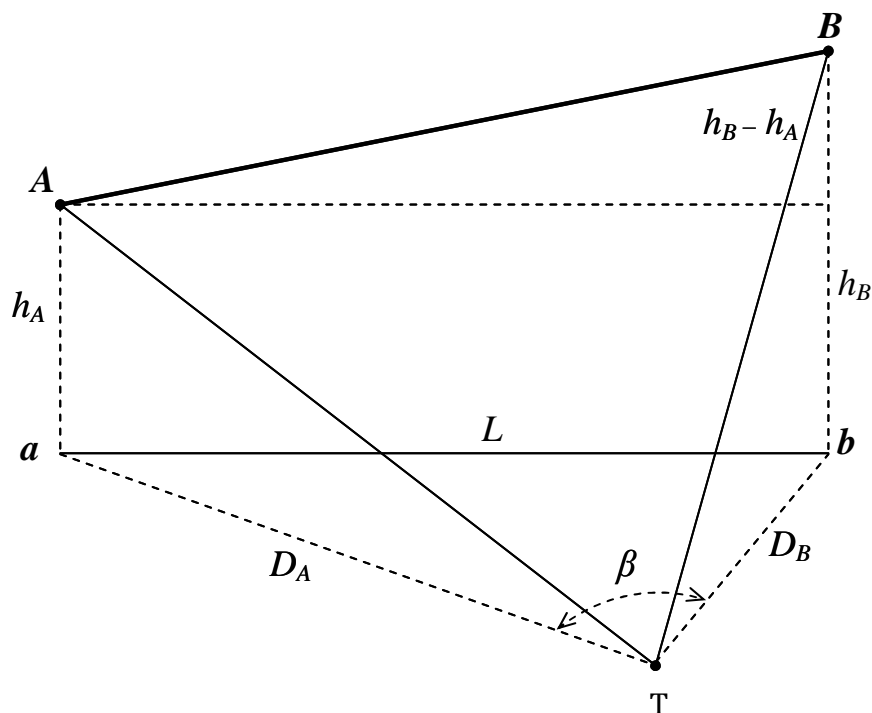


Рис. 78. Схема определения недоступного расстояния с помощью клавиши SDh электронного тахеометра

На основании этих графиков можно сделать вывод, что СКО m_L при соотношении L/D от 2,0 до 0,5 практически не зависит от величины L . Эта ошибка достигает своего минимального значения при соотношении L/D в пределах от 0,5 ($L = 40$ м) до 0,2 ($L = 5$ м). До этих пределов L/D основное влияние на точность определения L оказывает ошибка линейных измерений. Дальнейшее уменьшение соотношения L/D приводит к уменьшению влияния на величину СКО m_L ошибки линейных измерений и увеличению влияния на m_L ошибки угловых измерений.

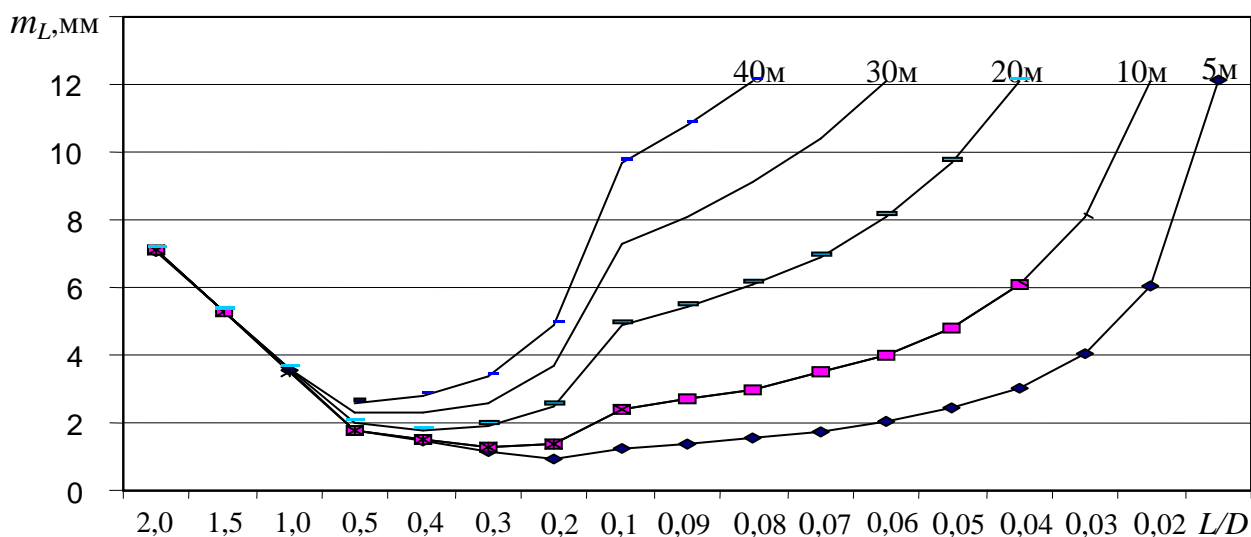


Рис. 79. Графики зависимости ошибки m_L от соотношения L/D для $m_D = 5$ мм и $m_\beta = 5''$

Покажем на примере двух производственных цехов завода «Сокол» рассмотренную выше методику применительно к определению расстояния между колоннами в ряду на уровне их оголовка. В обоих цехах шаг колонн 6 м, расстояние между внутренними гранями колонн в пролёте в одном цехе 17,3 м и 29,3 м в другом.

На рис. 80 представлены графики зависимости СКО m_L определения расстояния $L = 6$ м между колоннами в ряду на уровне их оголовка. Из этих графиков видно, во-первых, что при СКО $m_\beta = 5''$ влияние ошибки линейных измерений m_D на величину m_L постепенно уменьшается и, начиная с $L/D = 0,1$, оно пренебрежительно мало.

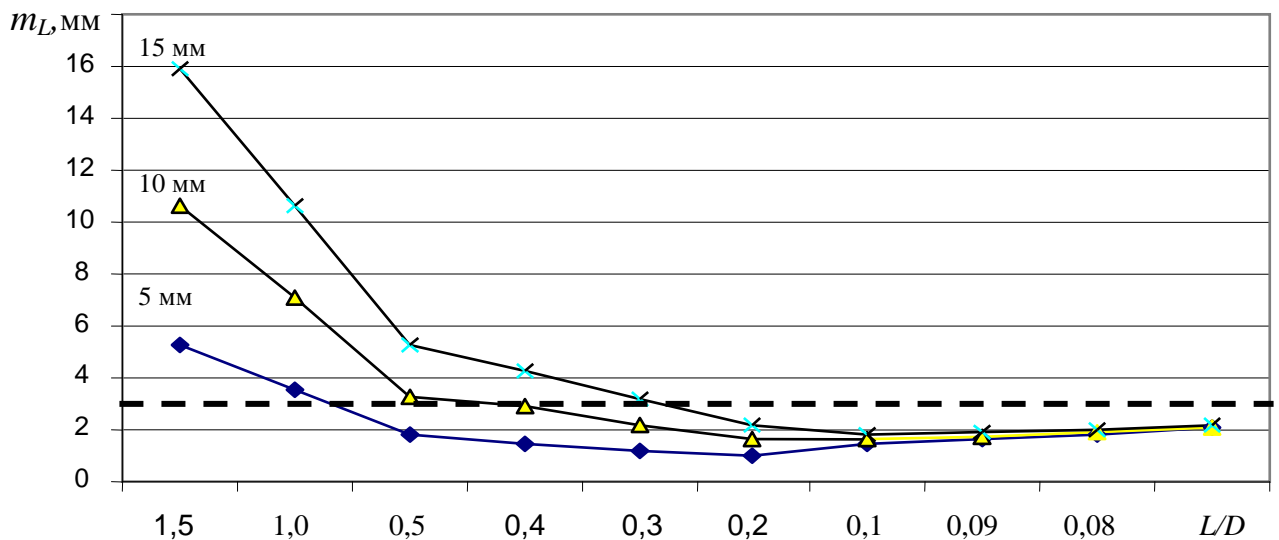


Рис. 80. Графики зависимости ошибки m_L от соотношения L/D , $m_\beta = 5''$ и $m_D = 5; 10; 15$ мм

Во-вторых, задаваясь величиной m_L , например, 3 мм (пунктирная линия на рис. 80), можно достичь этой точности при $L/D = 0,7; 0,4; 0,2$ и менее соответственно для линейной ошибки $m_D = 5; 10; 15$ мм. То есть, оптимальными будут являться $D = 6/0,7 = 8,6; 6/0,4 = 15,0; 6/0,2 = 30,0$ и более метров. В зависимости от расстояния между внутренними гранями колонн (в нашем примере 17,3 и 29,3) и оптимального расстояния D выбирается место установки прибора. Так, например, при $D = 8,6$ м тахеометр можно устанавливать посередине обоих цехов и производить измерения между двумя колоннами левого и правого ряда с одной точки стояния.

На рис. 81 представлены графики зависимости ошибки m_L определения расстояния между колоннами $L = 6$ м. Из этих графиков видно, во-первых, что при $m_D = 5$ мм ошибка угловых измерений m_β практически не оказывает влияния на величину m_L до соотношения $L/D = 0,2$.

Во-вторых, задаваясь величиной m_L , например, 3 мм (пунктирная линия на рис. 81), можно достичь этой точности при $L/D = 0,7$ и менее для всех

угловых ошибок $m_\beta = 5''; 15''; 30''$. То есть, в данном случае оптимальным будет являться расстояние $D = 6/07 = 8,6$ и более метров.

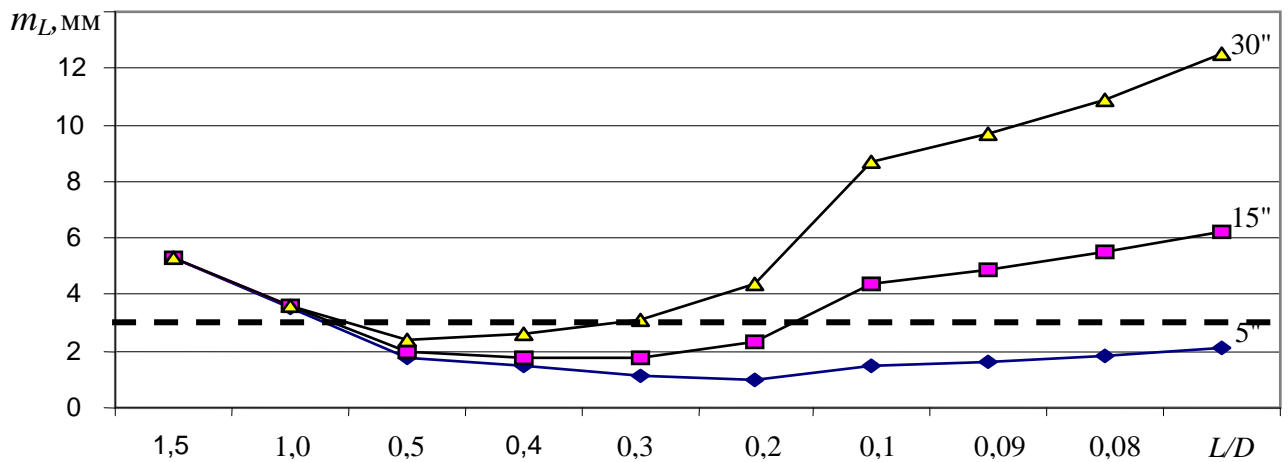


Рис. 81. Графики зависимости ошибки m_L от соотношения L/D ,
 $m_D = 5$ мм и $m_\beta = 5''; 15''; 30''$

Аналогичным образом можно рассчитать оптимальные расстояния съёмки при определении, например, ширины колеи кранового пути, расстояния между колоннами в пролёте, между фермами покрытия и др. Кроме того, по разности h_A и h_B можно найти превышение между точками A и B и, при необходимости, вычислить наклонную длину AB .

5.4. Определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн

Как правило, эта задача решается путём маркировки на уровне оголовка колонны её 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, трудоёмки и малопродуктивны. Поэтому нами были разработаны и опробованы новые способы, позволяющие производить необходимые измерения дистанционно: механический, лазерно-зеркальный, фотографический и угломерный.

5.4.1. Механический способ

Принципиальная схема механического устройства (показана на рис. 82а) заключается в следующем. Основанием устройства служит специальная подвижная каретка, которая состоит из двух шарнирно соединённых в точке O планок, на концах которых закреплены ролики A , B , B и Γ . Планки связаны между собой пружинами. На оси каретки установлен шарнирный параллело-

грамм $abvz$, 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 её боковым стенкам. С помощью удлинительной штанги перемещают каретку с шарнирным параллелограммом до соприкосновения вилки с нижними боковыми рёбрами фермы. Вертикальность штанги контролируется по круглому уровню. В результате самоцентрирования каретки относительно колонны и вилки относительно фермы стороны шарнирного параллелограмма ab и vz расположатся строго по осям колонны и фермы. Расстояние между ними c будет соответствовать величине смещения оси фермы относительно оси колонны.

5.4.2. Лазерно-зеркальный способ

Схема одного лазерно-зеркального устройства поясняется рис. 82б и заключается в следующем. Основанием устройства служат две подвижные каретки 1 и 2, на концах которых закреплены ролики А, Б и В, Г. Каретки связаны между собой направляющей 3, причём каретка АБ жёстко скреплена с направляющей, а каретка ВГ установлена на направляющей с возможностью перемещения вдоль неё. Перемещения каретки ВГ фиксируются пружиной 4. На направляющей установлен ползун 5, жёстко скреплённый 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 её 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 её 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, попадёт на правый экран-отражатель ВГ, в результате чего будет измерено расстояние $(S + l_{\text{п}})$. Повернув зеркало на 90° (на рисунке обозначено пунктиром), измеряют расстояние $(S + l_{\text{л}})$. Полуразность полученных значений даст величину c смещения оси фермы относительно оси колонны:

$$c = 0,5(l_{\text{л}} - l_{\text{п}}) = 0,5[(S + l_{\text{л}}) - (S + l_{\text{п}})], \quad (70)$$

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

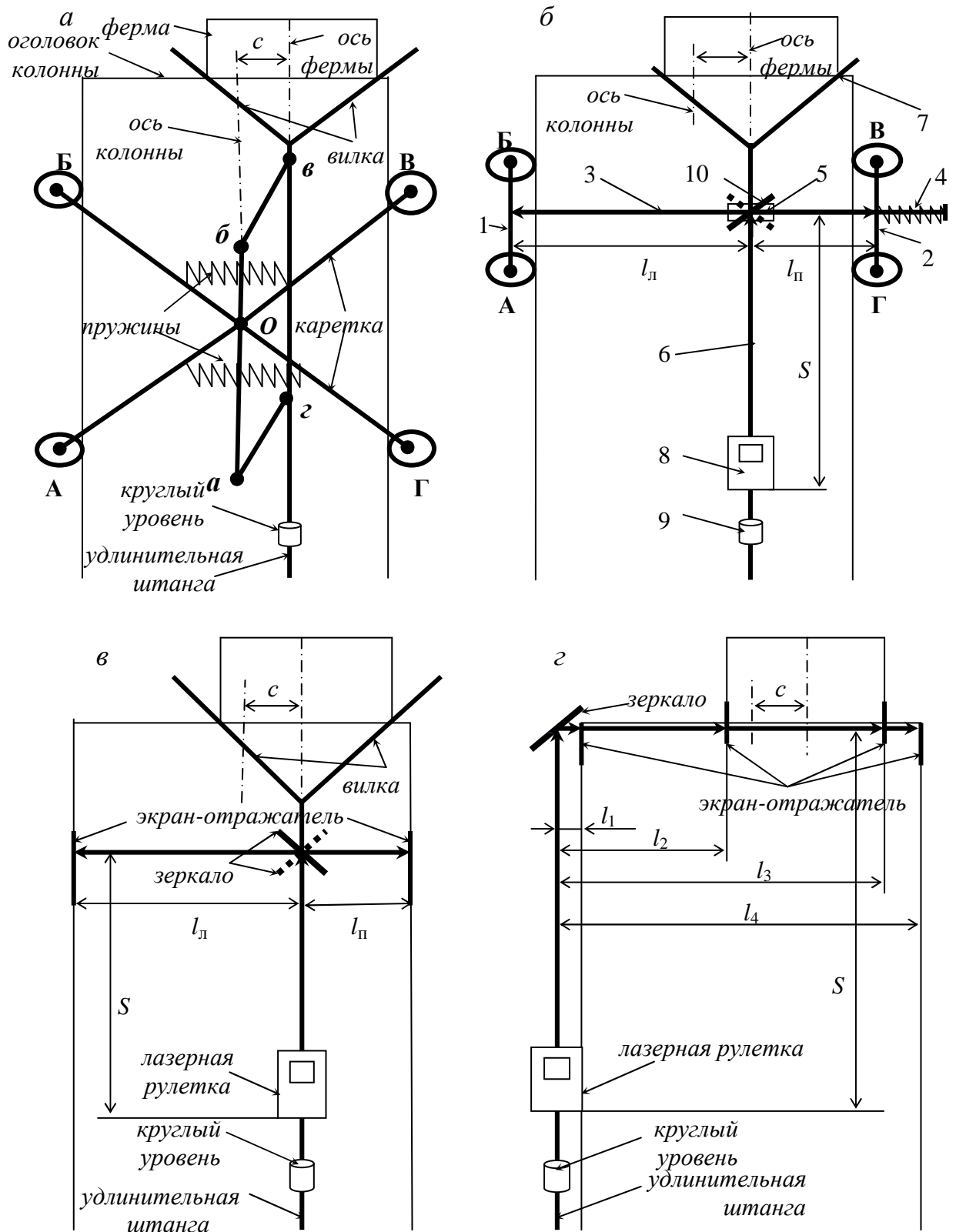


Рис. 82. Принципиальные схемы устройств для дистанционных измерений смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн

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° 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. 82в основана на измерении двух расстояний $(S + l_{л})$ и $(S + l_{п})$ от оси нижнего пояса фермы до левого и правого экранов-отражателей, приведённых в соприкосновение с боковыми гранями колонны с последующим вычислением величины смещения опорного узла фермы на оголовке колонны по формуле (70). Полуразность измеренных расстояний и её знак соответствуют величине и направлению смещения c оси фермы относительно оси колонны.

По схеме лазерно-зеркального устройства на рис. 82г 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

$$c = 0,5[(l_2 + l_3) - (l_1 + l_4)] = 0,5[(S + l_2) + (S + l_3)] - 0,5[(S + l_1) + (S + l_4)]. \quad (71)$$

Точность m_c определения смещения по формуле (71) соответствует точности измерения расстояний лазерной рулеткой, то есть $m_c = m_l$.

Знак «плюс» величины c в формуле (71) 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 трёх, то есть $(S + l_2)$, $(S + l_3)$ и $(S + l_4)$.

5.4.3. Фотографический способ

Он выполняется с помощью цифровых аппаратов, совместимых с персональным компьютером и 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. 83а). 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 (71).

Так, в нашем примере (рис. 83а) отсчёты по шкале рулетки равны $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 65$ мм, $l_3 = 393$ мм, $l_4 = 408$ мм. Следовательно, согласно формуле (71), смещение c опорного узла данной фермы на оголовке колонны составляет + 25 мм. Знак «плюс» означает смещение опорного узла вправо, что чётко видно на фотографии.

Вообще говоря, можно ограничиться фотографией только оголовка колонны и нижнего пояса фермы (рис. 83б). Зная ширину колонны, достаточно масштабировать снимок и все последующие измерения выполнять с помощью обычной линейки с миллиметровыми делениями или горизонтальной линейки на экране монитора.

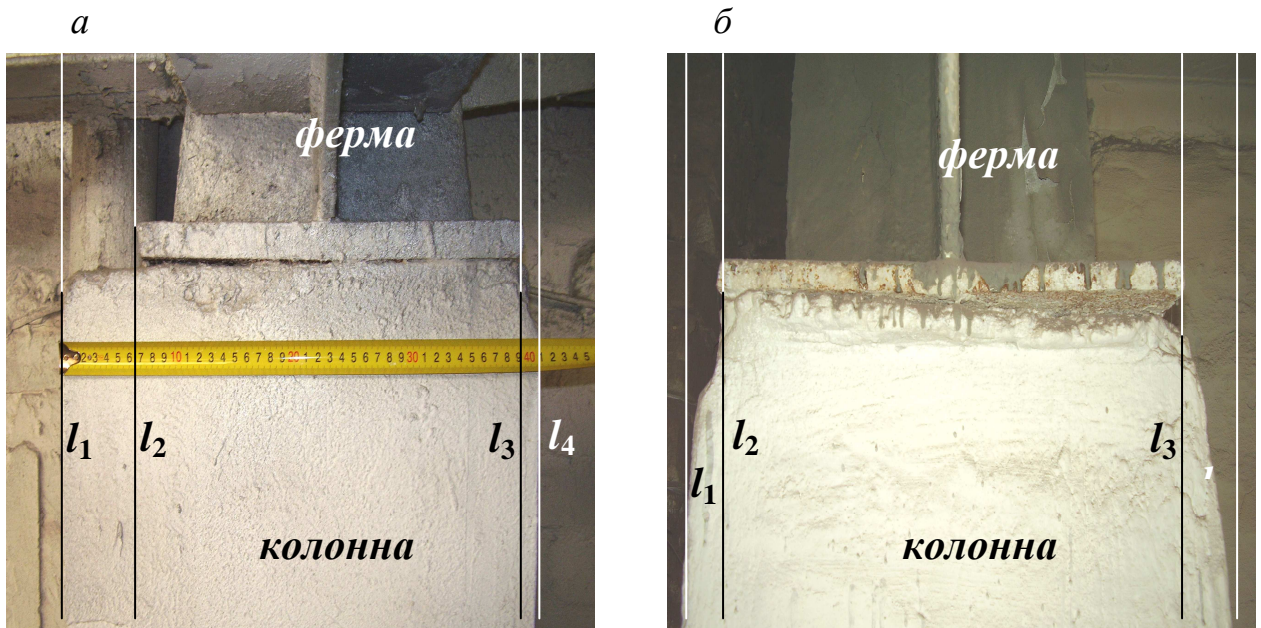


Рис. 83. Фотографический способ определения положения опорного узла фермы на оголовке колонны

Например, измерения на фотографии (рис. 83а) дали следующие результаты: $l_1 = 0$ мм, $l_2 = 35$ мм, $l_3 = 210$ мм, $l_4 = 218$ мм. Подсчитанное по формуле (111) 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 отсчётам по рулетке.

Аналогичные измерения на фотографии (рис. 83б) 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 (71) 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.

Наконец, третий способ измерений фотографии заключается в использовании программы редактирования фотографических изображений, позволяющей фиксировать величину горизонтальных перемещений стрелки курсора от некоторой начальной точки. Такой точкой, в используе-

мой нами программе ArchiCAD 11, являлась точка O на левом краю фотографии (рис. 84).

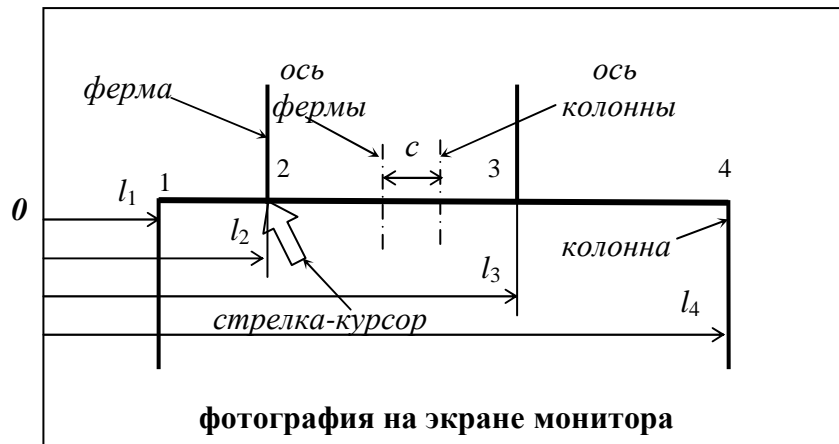


Рис. 84. Схема измерений фотографии с помощью стрелки-курсора

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% и др.), причем масштаб снимка не влияет на величину измеряемых расстояний l_i . По результатам измерений вычисляют по формуле (71) значение смещения c .

5.4.4. 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. 85).

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 $O_F = 0,5(O_{ЛФ} + O_{ПФ})$ на воображаемые осевые риски колонны и фермы.

Разность этих отсчетов $\gamma = O_F - O_K$ соответствует смещению опорного узла фермы на оголовке колонны в угловой мере. Причем, знак этой раз-

ницы «плюс» означает смещение опорного узла фермы вправо, знак «минус» – влево.

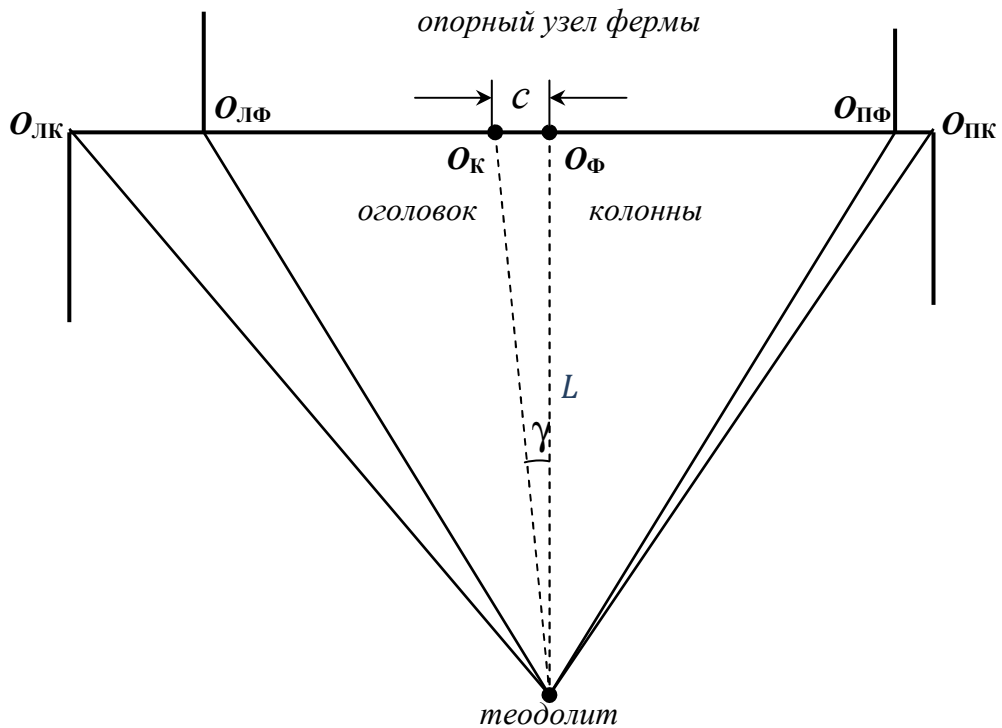


Рис. 85. Угломерный способ определения положения опорного узла фермы на оголовке колонны

В табл. 12 приведены значения СКО m_c при $m_\gamma = 2'', 5'', 15'', 30''$ и относительной ошибке измерения расстояний 1:100, 1:200, 1:300, 1:500, 1:1000 для $\gamma = 5''$ и $\gamma = 600''$.

Т а б л и ц а 12

Ошибки m_c в зависимости от ошибок измерения расстояний m_L и углов m_γ

$L, \text{ м}$	$m_c, \text{ мм}$			
	T2	T5	T15	T30
$m_L = 1:100$				
1,5 H (15)	0,1/0,5	0,4/0,6	1,1/1,2	2,2/2,2
$m_L = 1:200$				
1,5 H (15)	0,1/0,3	0,4/0,4	1,1/1,1	2,2/2,2
$m_L = 1:300$				
1,5 H (15)	0,1/0,2	0,4/0,4	1,1/1,1	2,2/2,2
$m_L = 1:500$				
1,5 H (15)	0,1/0,2	0,4/0,4	1,1/1,1	2,2/2,2
$m_L = 1:1000$				
1,5 H (15)	0,1/0,2	0,4/0,4	1,1/1,1	2,2/2,2

Зная расстояние L от теодолита до колонны, можно вычислить величину смещения опорного узла фермы на оголовке колонны по формуле

$$c = L\gamma/\rho, \quad \rho = 206265'' \quad (72)$$

Выбранные ошибки m_γ измерения углов соответствуют точности серийно выпускаемых теодолитов Т2, Т5, Т15, Т30. Средняя высота колонны (на примере цехов ОАО НАЗ «СОКОЛ») принята равной 10 м, а расстояние L от теодолита до колонны равно $1,5L$ или 15 м. Значения m_c в числителе в графах таблицы соответствуют $\gamma = 5''$, а в знаменателе они соответствуют $\gamma = 600''$.

Данные табл. 12 позволяют сделать вывод о том, что в 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 Т30 и измерении расстояния от теодолита до колонны с помощью нитяного дальномера, точность определения смещения m_c может составить всего около 2 мм.

В результате исследований установлено, что новые способы (лазерно-зеркальный, угломерный и фотографический) могут с успехом применяться для определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн. Они дают практически одинаковые по точности результаты, отличаются высокой точностью, производительностью и обеспечивают надежную безопасность работ.

5.5. 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.

5.5.1. Способ геометрического нивелирования

Он заключается в том (рис. 86), 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 отсчёты. По этим отсчётам вычисляют стрелы прогиба конструкций. Пример вычисления стрелы h прогиба правой поло-

вины фермы одного из литейных цехов ОАО НАЗ «Сокол» (рис. 104) в точке 4 относительно точек 3 и 5 приведен на рис. 87.

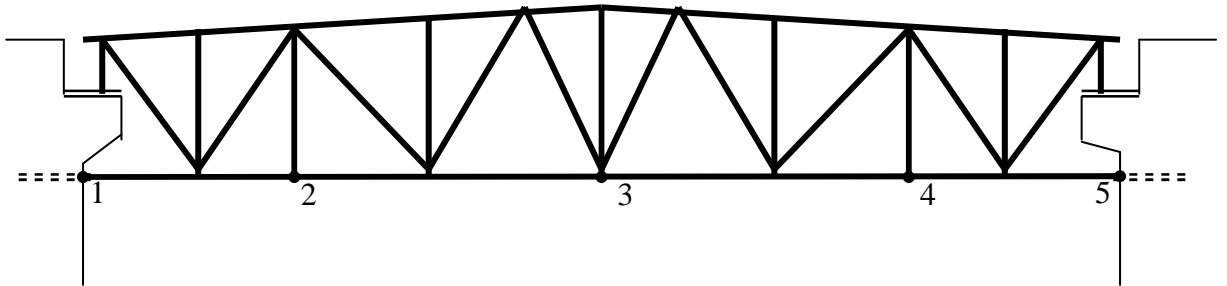


Рис. 86. Пример конфигурации фермы и нивелируемые точки

Здесь O_1, O_2, O_3 – отсчёты по рейке в нивелируемых точках, расстояние между которыми l_1 и l_2 . По этим данным стрелу прогиба h можно вычислить по формуле (114), причем знак «плюс» у h означает прогиб конструкции выпуклостью вниз, а знак «минус» - выпуклостью вверх:

$$h = \frac{l_1}{l_1 + l_2} (O_3 - O_5) + (O_5 - O_4) . \quad (73)$$

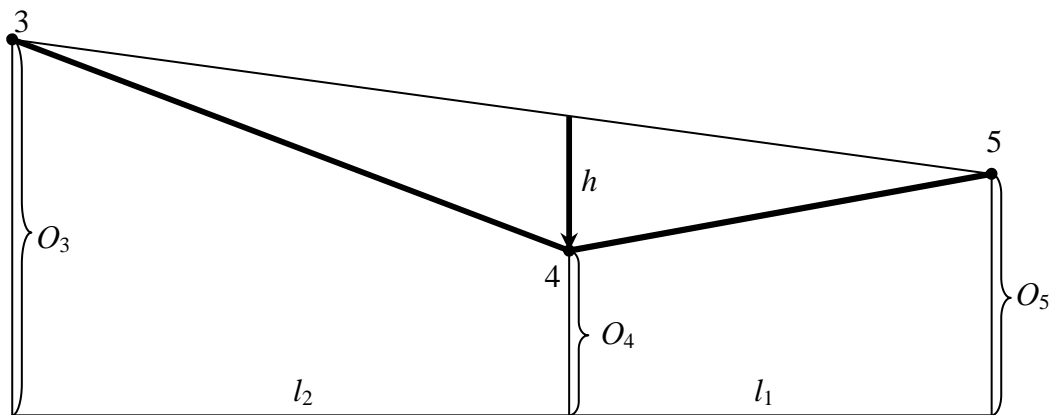


Рис. 87. Схема к определению стрелы прогиба конструкции

По формуле (73) можно вычислить стрелу прогиба между любыми пронивелированными точками конструкции. При равенстве длин l_1 и l_2 формула (73) упрощается и принимает вид:

$$h = \frac{1}{2} (O_3 + O_5) - O_4 . \quad (74)$$

5.5.2. Способ тригонометрического нивелирования

Этот способ предусматривает измерения на нивелируемые точки угла наклона и наклонного расстояния. С помощью электронного тахеометра эта операция выполняется следующим образом.

Прибор устанавливают в некоторой точке T (рис. 88) и, визируя последовательно на точки 1, 2, 3, ..., основания фермы, получают с помощью клавиши SDh на каждую наблюдаемую точку превышения h . По разности полученных превышений вычисляют стрелы прогиба конструкции.

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. 89).

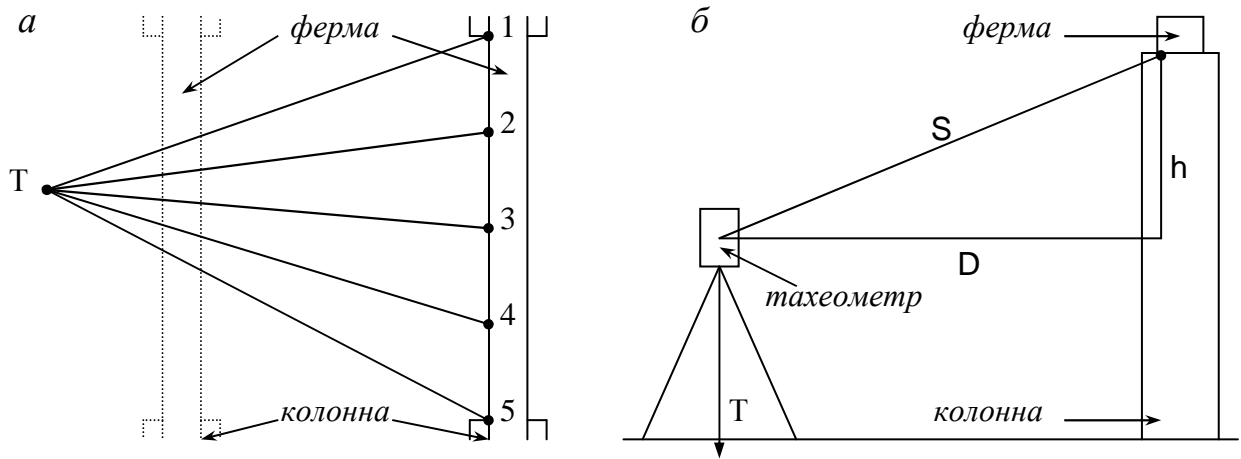


Рис. 88. Схема определения стрелы прогиба с помощью электронного тахеометра: (а – вид сверху, б – вид сбоку)

Наводят последовательно перекрестие сетки или лазерное пятно прибора на низ левой колонны H_L , точки 1, 2, 3, ... и низ правой колонны H_P , получая с помощью клавиши SDh 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 D_1 и низа $D_{ЛН}$ левой колонны и до верха D_5 и низа $D_{ПН}$ правой колонны вычисляют крен K_L и K_P каждой колонны:

$$K_L = (D_1 + L_B) - (D_{ЛН} + L_H), \quad (75)$$

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

где L_B , L_H , P_B , P_H – ширина колонны поверху и понизу, а по знаку разности судят о крене колонны влево или вправо.

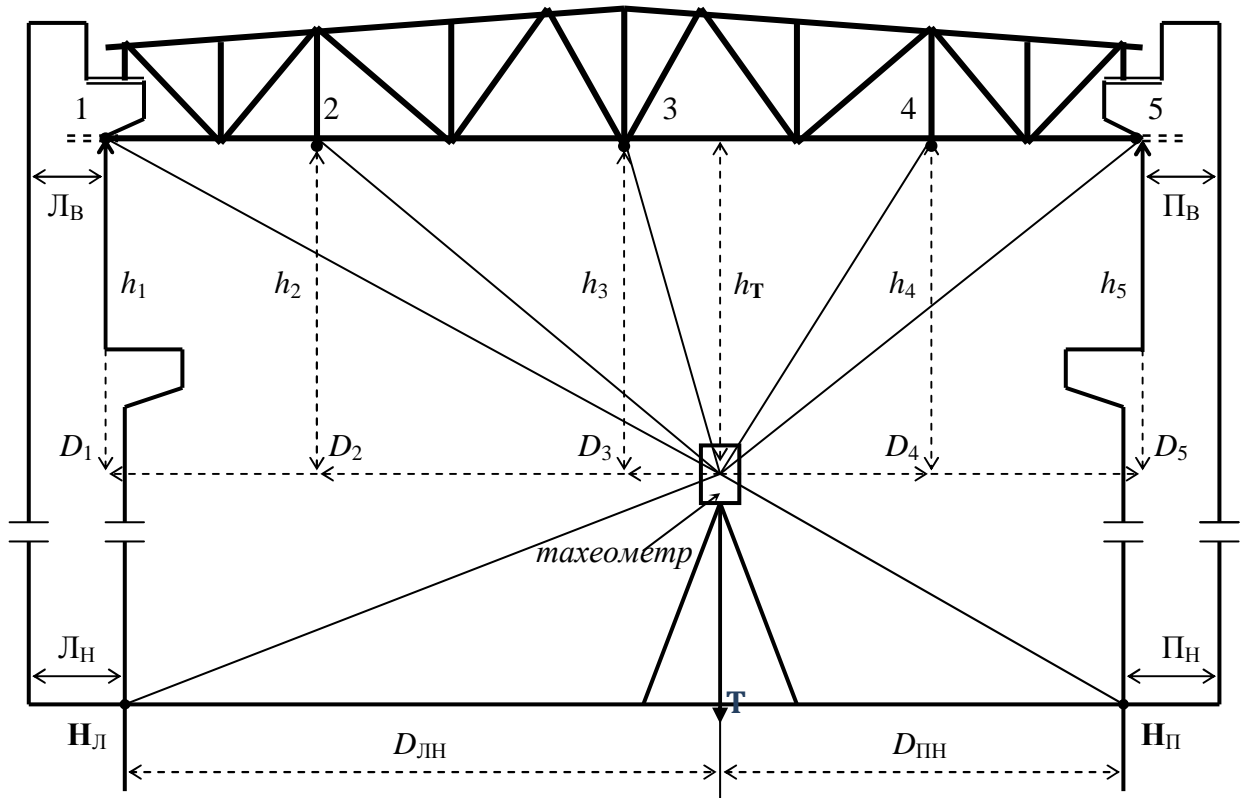


Рис. 89. Схема одновременного определения вертикальности колонн и стрелы прогиба фермы путем сканирования точек в вертикальной плоскости

5.5.3. Лучевой способ

Он предусматривает задание створа вдоль нижнего пояса фермы с помощью лазерного пучка. Проще всего использовать для этой цели лазерную рулетку, закрепленную на колонне (рис. 90) и включенную на работу в непрерывном режиме, и нивелирную рейку.

Взяв отсчёт O_1 по лазерному пятну на рейке, установленной нулем вверх, перемещают рейку в точку 5 и, наклоняя рулетку, добиваются совмещения лазерного пятна с отсчётом O_5 , равным отсчёту 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 отсчёты по рейке O_4, O_3, O_2 , фиксируя одновременно расстояния от рулетки до рейки l_4, l_3, l_2 .

По отсчётам O_i можно вычислить стрелу прогиба h_i для любой точки замера (рис. 90б):

$$h_i = O_1 - O_i, \quad (76)$$

причём 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.

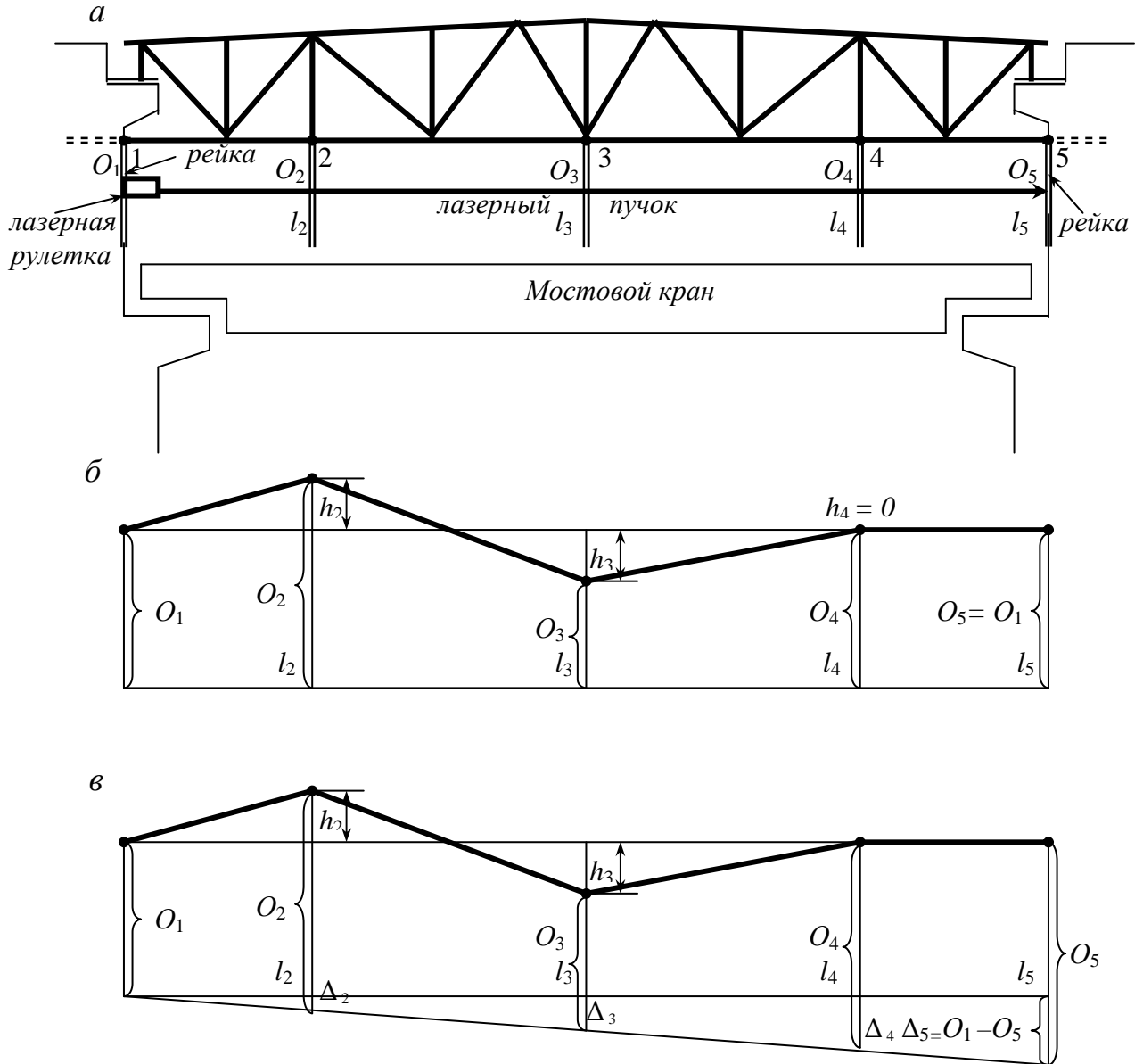


Рис. 90. Схема лучевого способа определения стрелы прогиба

Вообще говоря, лазерный пучок может располагаться произвольно относительно линии 1-5 (рис. 90в). В этом случае в отсчёты по рейке O_i следует ввести поправки Δ_i :

$$\Delta_i = \frac{l_i}{l_n} \Delta_n, \quad (77)$$

где $\Delta_n = O_1 - O_n$, а знак поправок соответствует знаку разности $(O_1 - O_n)$.

Тогда формула (76) примет вид:

$$h_i = O_1 - (O_i + \Delta_i). \quad (78)$$

5.5.4. Фотографический способ

Этот способ определения прогибов ферм перекрытий с применением цифровых фотоаппаратов, совместимых с компьютером, может выполняться следующим образом (рис. 91). Отмечают с помощью нивелира метками на колоннах положение произвольной горизонтальной референтной линии РЛ. В дальнейшем на фотографиях с помощью стрелки-курсора измеряют расстояния O_i от этой линии до нижнего пояса ферм, масштабируя снимки по вертикальным размерам элементов фермы.

В любом случае, измерив на фотографии отрезки $O_1 \dots O_5$ (рис. 90в) от произвольной референтной линии (нижний или верхний край фотографии), можно по формулам (77, 78) определить стрелу прогиба фермы в любом её месте, масштабируя снимок по горизонтальным и вертикальным размерам элементов фермы.



Рис. 91. Схема фотографического способа определения стрелы прогиба

5.6. Геодезическая выверка колонн по вертикали

Для определения вертикальности колонн применяются различные способы: тригонометрическое нивелирование; вертикальное проектирование с помощью теодолита верхней осевой риски колонны на уровень её нижней

осевой риски; вертикальное проектирование с использованием рулеток или ЛЗУ; боковое нивелирование; использование приборов вертикального проектирования типа PZL; использование шнурового отвеса в сочетании с лазерной рулеткой; использование электронного тахеометра и др.

Предельные отклонения в период эксплуатации осей колонн одноэтажных зданий в верхнем сечении от вертикали и разность отметок верха колонн приведены в табл. 13 [5].

Т а б л и ц а 13

Предельные отклонения колонн сооружения

Вид конструкции колонны	Высота колонны, м	Предельно допустимое отклонение осей колонн, мм	Разность отметок верха соседних колонн, мм
Металлические колонны	до 4	10	10
	4-8	15	
	8-16	20	
	16-25	25	
Железобетонные колонны	до 4	25	20
	4-8	30	25
	8-16	35	30
	16-25	50	35

5.6.1. Тригонометрическое нивелирование

Оно может выполняться с помощью электронного тахеометра и его клавиши SDh по описанной выше схеме на рис. 89 и предусматривает определение горизонтальных проложений от точки стояния прибора до верха и низа колонны. Крен колонны вычисляют по формулам (75).

5.6.2. Вертикальное проектирование с помощью теодолита

Методика выполнения этого способа зависит от насыщенности производственных помещений технологическим оборудованием.

Первый способ (рис. 92а) 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 про-

екцией и нижней осевой рисккой дает линейную величину и направление крена $K_{\text{изм}}$.

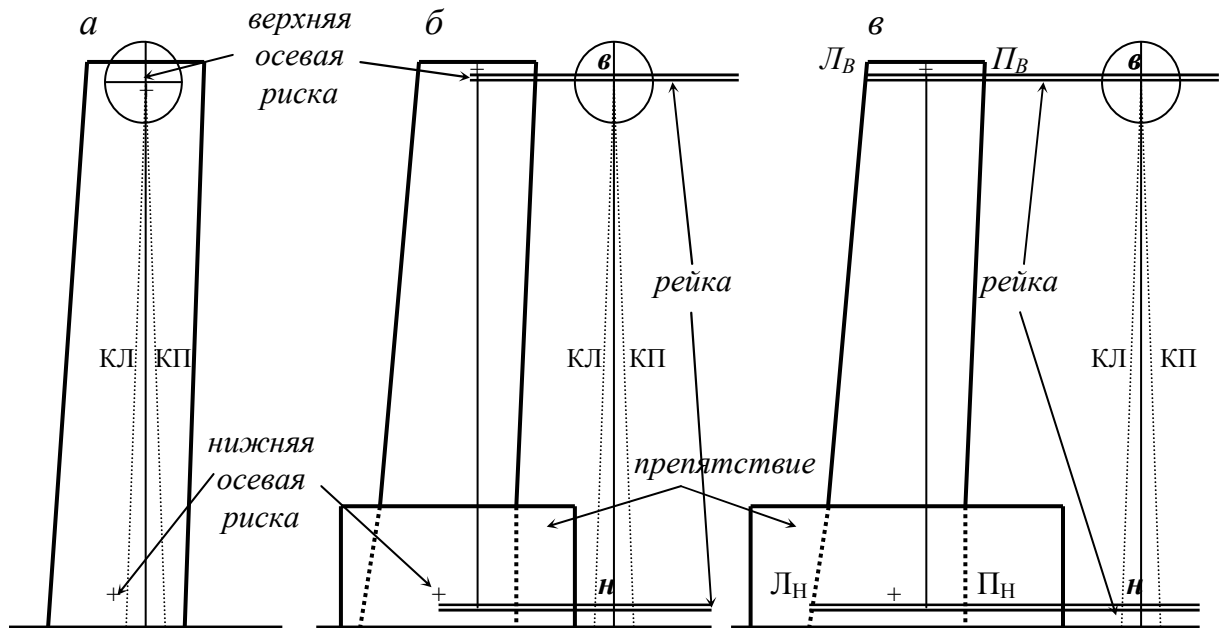


Рис. 92. Определение вертикальности колонны с помощью теодолита

Если нижняя осевая риска закрыта препятствием (рис. 92б), то устанавливают теодолит на некотором расстоянии от оси колонны (влево или вправо), обеспечивающем видимость рейки, приложенной к верхней и нижней осевым рискам. Визируют при двух положениях вертикального круга на некоторый (для удобства – кратный) отсчёт $в$ верхней рейки, берут отсчёты при КЛ и КП по нижней рейке и выводят средний отсчёт $н$. Разность отсчётов $(н-в)$ 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. 92в). Взяв отсчёты $ЛВ$, $ПВ$ и $в$ по верхней рейке и отсчёты $ЛН$, $ПН$ и $н$ по нижней рейке, вычисляют крен колонны:

$$K_{\text{изм}} = н - в - (ЛН - ЛВ + ПН - ПВ):2 . \quad (79)$$

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

$$K = K_{\text{изм}} H / H_{\text{изм}} , \quad (80)$$

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

5.6.3. Вертикальное проектирование с помощью теодолита и рулеток

Данный способ применяется тогда, когда расстояния $L_B - b$ ($L_H - h$) превышают длину рейки. Такой способ позволяет определять одновременно вертикальность двух соседних колонн в ряду.

Его сущность поясняется рис. 93 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 её полотна. Одновременно с закреплением рулеток берут по ним отсчёты L_{B1} , L_{B2} , P_{B1} , P_{B2} по верхней рулетке и L_{H1} , L_{H2} , P_{H1} , P_{H2} по нижней рулетке.

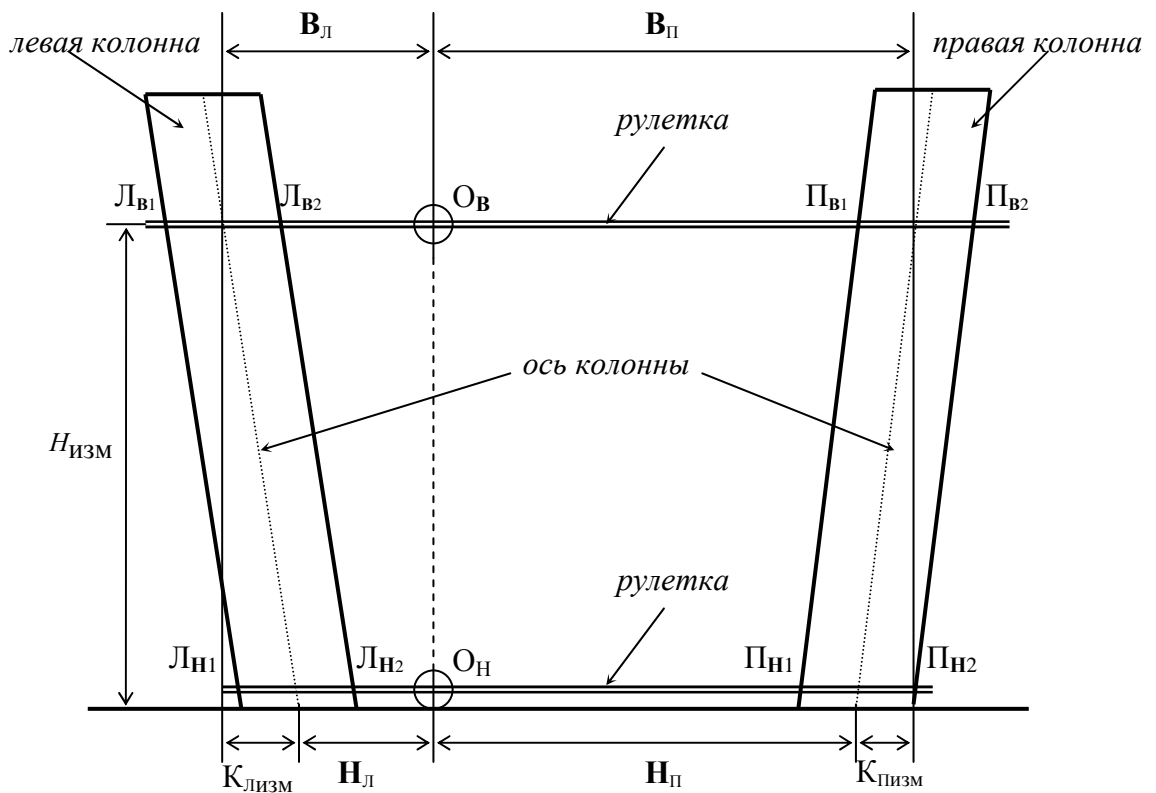


Рис. 93. Определение вертикальности колонн с помощью теодолита и двух рулеток

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 зрительной трубы при КЛ и КП отсчёты по нижней рулетке и выводят средний отсчёт O_H .

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

$$\begin{aligned} V_L &= O_B - (L_{B1} + L_{B2}):2, \\ H_L &= O_H - (L_{H1} + L_{H2}):2, \\ V_{II} &= -O_B + (P_{B1} + P_{B2}):2, \\ H_{II} &= -O_H + (P_{H1} + P_{H2}):2, \end{aligned} \quad (81)$$

следовательно:

$$\begin{aligned} K_{Лизм} &= [O_B - (L_{B1} + L_{B2}):2] - [O_H - (L_{H1} + L_{H2}):2], \\ K_{Пизм} &= [-O_B + (P_{B1} + P_{B2}):2] - [-O_H + (P_{H1} + P_{H2}):2]. \end{aligned} \quad (82)$$

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 отсчётов $L_{B1} = L_{H1}$, поэтому формула (82) для левой колонны упростится и примет вид:

$$K_{Лизм} = O_B - O_H - (L_{B2} + L_{H2})/2. \quad (83)$$

Вычисленные по формулам (81, 82) величины крена $K_{изм}$ могут быть экстраполированы на всю высоту колонны H по формуле (80).

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.

5.6.4. Вертикальное проектирование с помощью теодолита и ЛЗУ

Достоинством способа является возможность производить необходимые измерения дистанционно.

Первый вариант этого способа предусматривает закрепление на грузоподъёмном кране вертикально удлинительной штанги с маркой-экраном M так, чтобы эта марка располагалась примерно на уровне оголовка колонн (рис. 94). Перемещают кран с маркой в такое место, когда её 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 качест-

в точке M' будет фигурировать соответствующий отсчёт по шкале этой рейки.

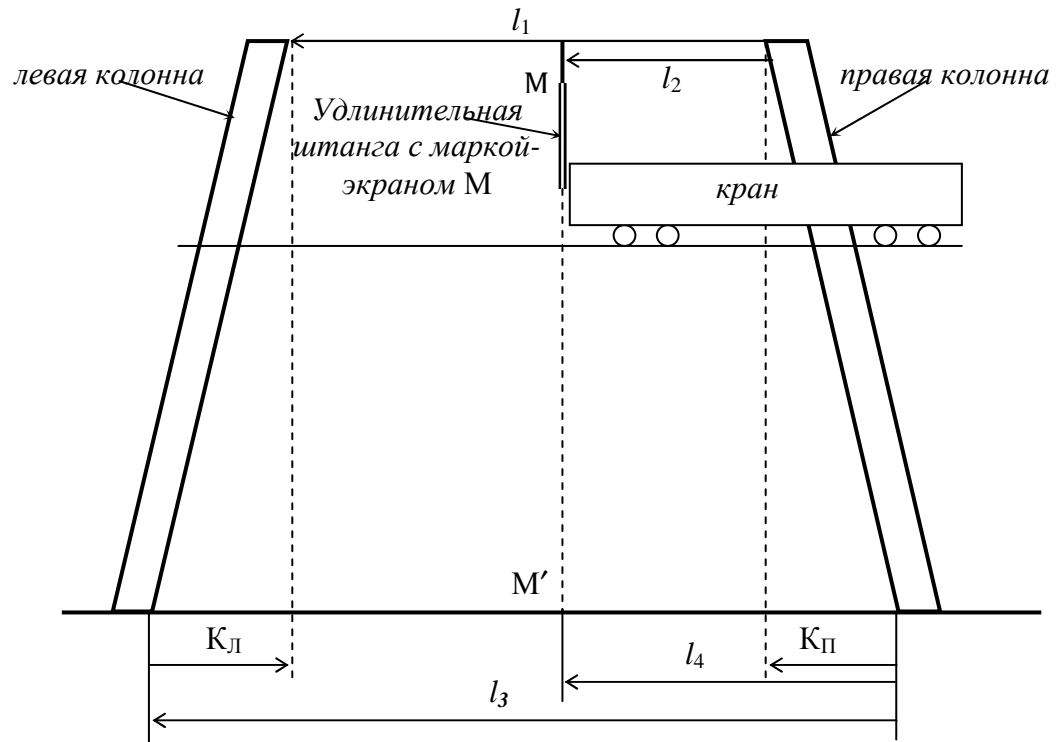


Рис. 94. Первый вариант способа измерения вертикальности колонн с помощью лазерно – зеркального устройства

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:

$$K_{П} = l_4 - l_2, K_{Л} = (l_3 - l_1) - (l_4 - l_2). \quad (84)$$

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 (84), используя в качестве l_1, l_2, l_3 и l_4 соответствующие показания дисплея лазерной рулетки, включающие постоянное слагаемое. В этом заключается одно из существенных преимуществ предлагаемого

гаемого способа, когда на удлинительной штанге ЛЗУ положения зеркала и рулетки могут быть совершенно произвольными, но однообразными при производстве измерений вверху и внизу. Причём, при измерениях внизу удлинительная штанга ЛЗУ может занимать как вертикальное, так и горизонтальное положение.

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 её 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 её на уровень пола для нахождения проекции M' .

Если (рис. 95) 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 колонн.

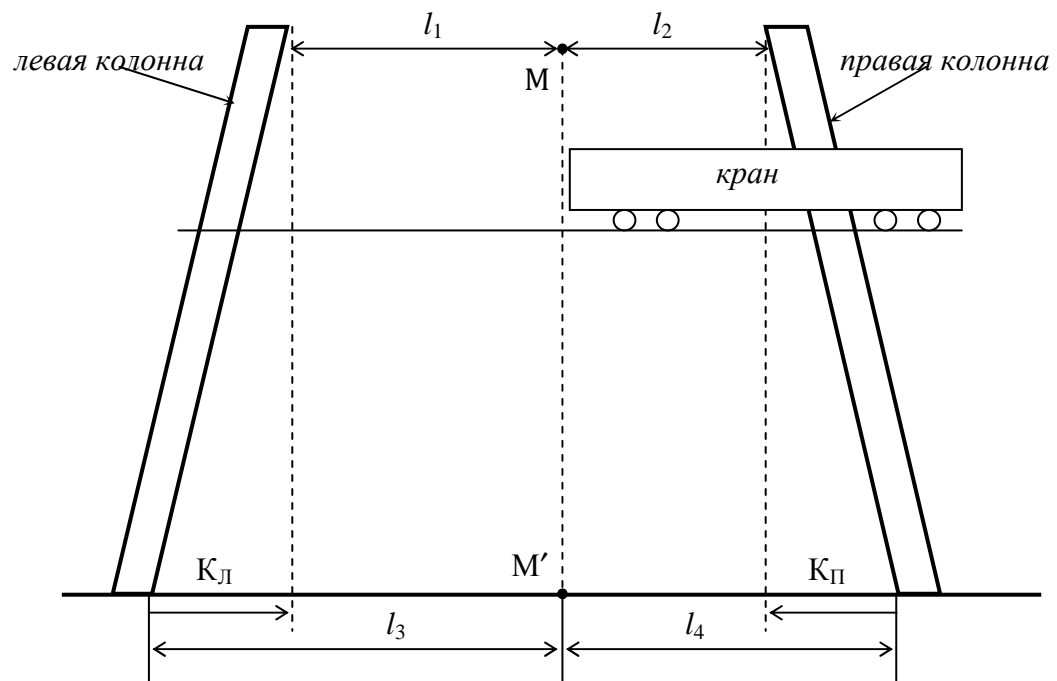


Рис. 95. Второй вариант способа измерения вертикальности колонн с помощью лазерно – зеркального устройства

5.6.5. Реечный, безреечный, комбинированный способы

Они могут применяться в том случае, когда оголовок колонны располагается выше нижнего пояса фермы (рис. 96а), который закрывает верхнюю осевую риску (рис. 96б). 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.

Для этого и других случаев 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. 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. 97а). Он заключается в том, что намечают на колонне нижнюю осевую риску и прикладывают к ней рейку, совместив для удобства с риской 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 беря отсчеты по рейке. Выводят средний отсчет O_L . Аналогичным образом находят средний отсчет O_P , соответствующий проекции точки P_B (правое ребро колонны).



Рис. 96. Конфигурация ферм одного из корпусов ОАО НАЗ «Сокол»: вид сбоку (а), вид спереди (б)

Величину крена K определяют по формуле

$$K = 0,5(O_L + O_P) - O, \quad (85)$$

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.

Безреечный способ определения крена колонны предусматривает только угловые измерения (рис. 97б). Установив теодолит перед колонной и закрепив лимб, визируют при одном положении вертикального круга КЛ на верхние и нижние грани колонны, беря последовательно отсчёты по горизонтальному кругу. Затем действия повторяют при другом положении вертикального круга КП и выводят средние отсчёты L_B , P_B и L_H , P_H .

По ним вычисляют отсчёты $O_B = 0,5(L_B + P_B)$ и $O_H = 0,5(L_H + P_H)$ на воображаемые верхнюю и нижнюю осевые риски колонны. Разность этих отсчётов $\gamma = O_B - O_H$ 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 (72).

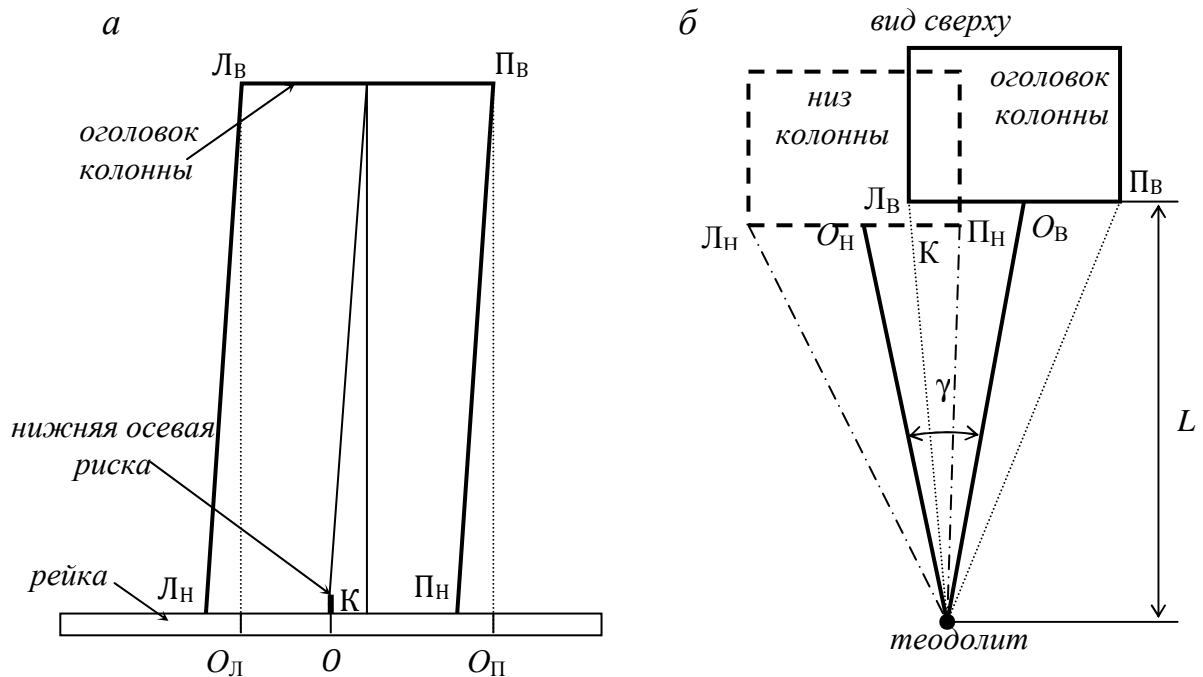


Рис. 97. Реечный (а) и безреечный (б) способы определения крена с помощью теодолита

Если низ колонны закрыт и не просматривается, то может быть применен комбинированный способ: двусторонний (рис. 98а) или односторонний (рис. 98б).

Двусторонний 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 отсчёты рейки, равноудаленные от оси колонны или от её 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 визирование осуществляют на одноименные видимые деления реек. Величину крена вычисляют по формуле (85).

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. 98б). Визируют при двух положениях вертикального круга теодолита на видимый отсчёт рейки (в нашем случае правый) и выводят средний отсчёт по горизонтальному кругу Π_H . Зная длину отрезка OP_H и расстояние L от теодолита до колонны вычисляют:

$$\operatorname{tg} \beta = OP_H : L, \quad (86)$$

по значению которого находят угол β .

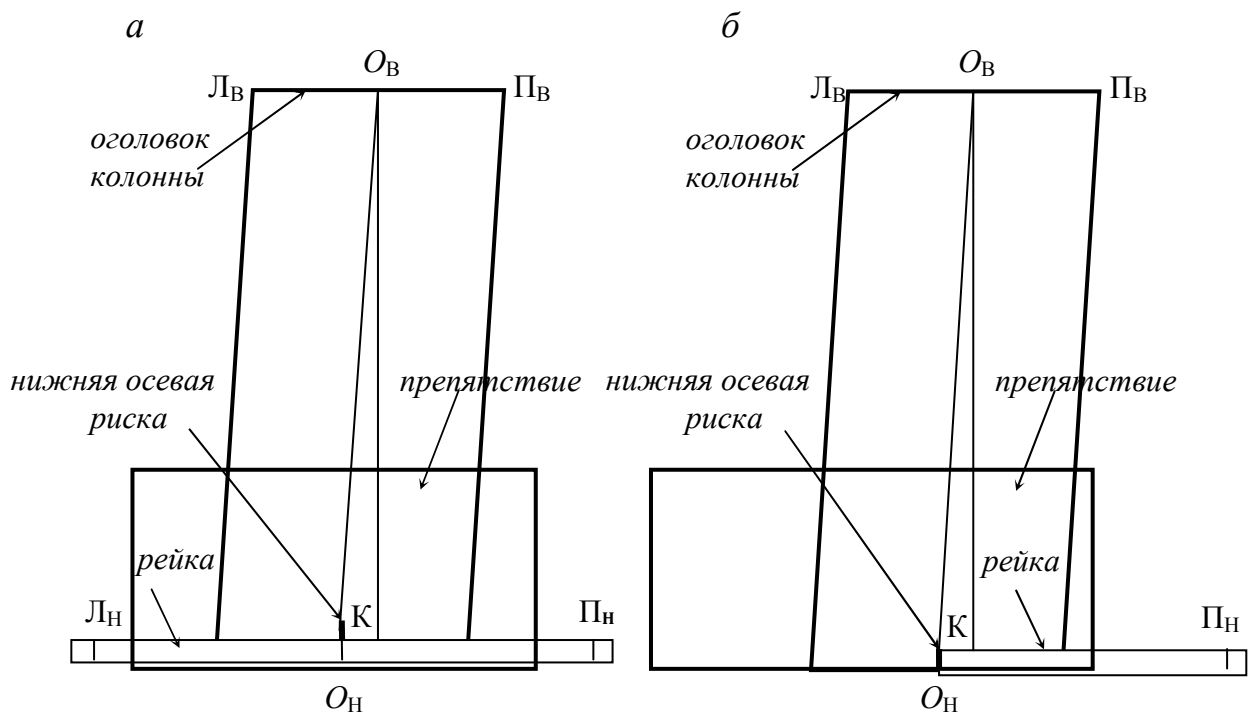


Рис. 98. Комбинированный способ: двусторонний (а) и односторонний (б)

Направление O_H на закрытую нижнюю осевую риску при правостороннем расположении рейки находят как разность $O_H = \Pi_H - \beta$. При левостороннем расположении рейки $O_H = Л_Н + \beta$. Величину крена вычисляют по формуле (85).

5.6.6. Координатный способ

Способ предусматривает применение электронных тахеометров с пассивным отражением. Установив вместо теодолита (рис. 97б) 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:

$$K_X = X_B - X_H, \quad K_Y = Y_B - Y_H, \quad (87)$$

причём оси X и Y условной системы координат выбирают параллельными строительным осям сооружения. Кроме того, если сечение оголовка колонны отличается от сечения её низа, то это следует учитывать в формулах (87).

При отсутствии осевых рисок могут быть определены координаты верхних L_B, P_B и нижних L_H, P_H точек колонны (рис. 97б), 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 одном случае следует определять координаты двух одноимённых видимых делений реек и по ним вычислять средние координаты X_H, Y_H . В другом достаточно определить координаты $X_{П}, Y_{П}$ отсчёта по рейке P_H при правостороннем её расположении или $X_{Л}, Y_{Л}$ отсчёта по рейке L_H при левостороннем её 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 $X_{П}$ или $X_{Л}$ отсчёта по рейке P_H или L_H . Координату Y_H можно найти зная расстояния OP_H или OL_H от оси колонны до соответствующего отсчёта по рейке:

$$Y_H = Y_{П} - OP_H, \quad Y_H = Y_{Л} + OL_H, \quad (88)$$

а крен колонны K_X и K_Y вычислять по формулам (87).

5.6.7. Использование приборов вертикального проектирования

Оно заключается в определении 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. 99а.

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 $H_{\text{изм}}$.

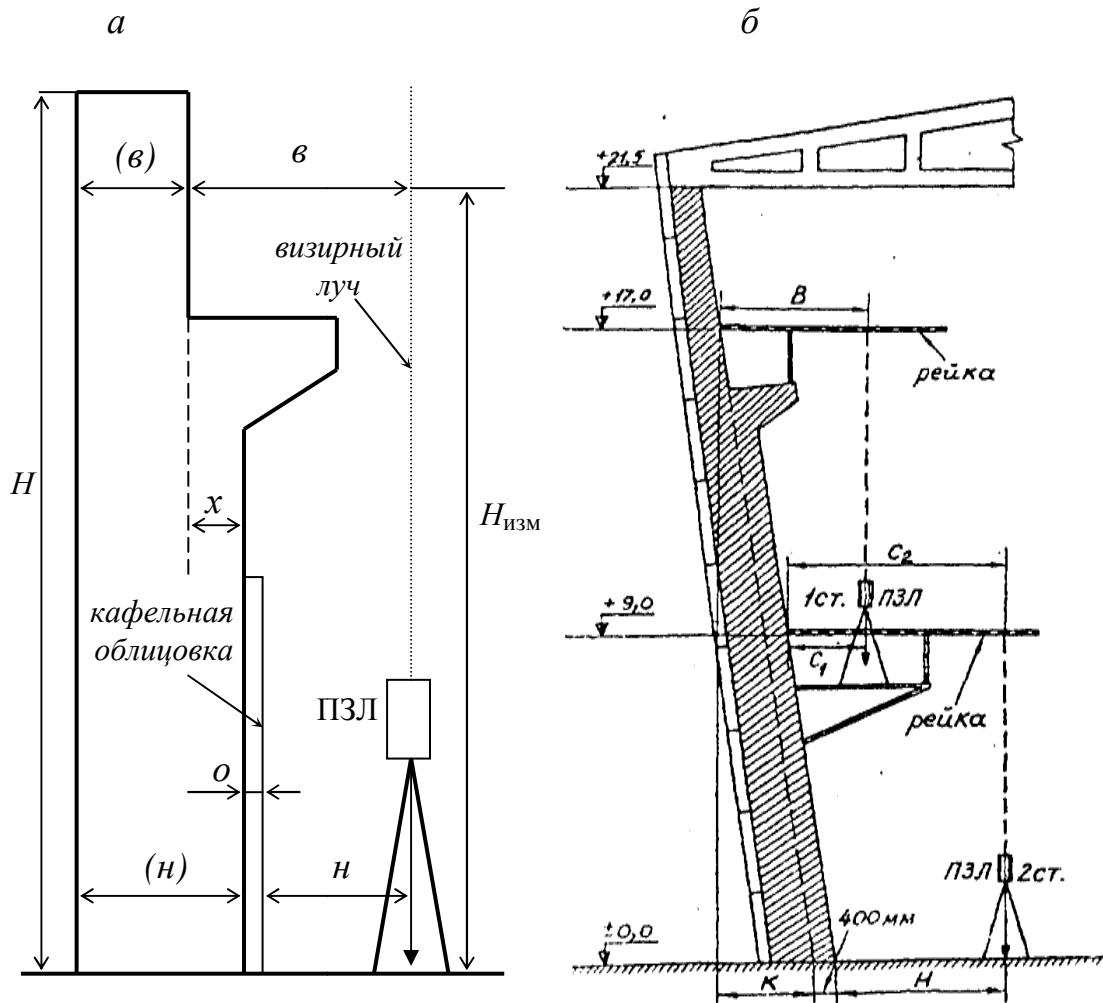


Рис. 99. Схема сквозного (а) и ступенчатого (б) вертикального проектирования

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

$$K_{\text{изм}} = n + o + x - v, \quad (89)$$

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 $K_{\text{изм}}$ может быть экстраполирована на всю высоту колонны H по формуле (30).

Пример ступенчатого проектирования с использованием прибора ПЗЛ при геодезической выверке колонн в машинном зале одной из ТЭЦ Нижегородской области приведен на рис. 99б.

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:

$$K_1 = B - c_1 - 400 \text{ мм} . \quad (90)$$

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:

$$K_2 = c_2 - H. \quad (91)$$

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

$$K = K_1 + K_2 . \quad (92)$$

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.

5.6.8. Способ бокового нивелирования

Если имеется возможность установить теодолит в одном конце цеха на площадке, расположенной лучше всего на высоте примерно $H_{\text{изм}} : 2$, 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

отсчётов 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.

Предельные отклонения осей колонн одноэтажных зданий в нижнем сечении от створа в период эксплуатации не должны превышать 10 мм для железобетонных колонн и 15 мм для металлических колонн [5].

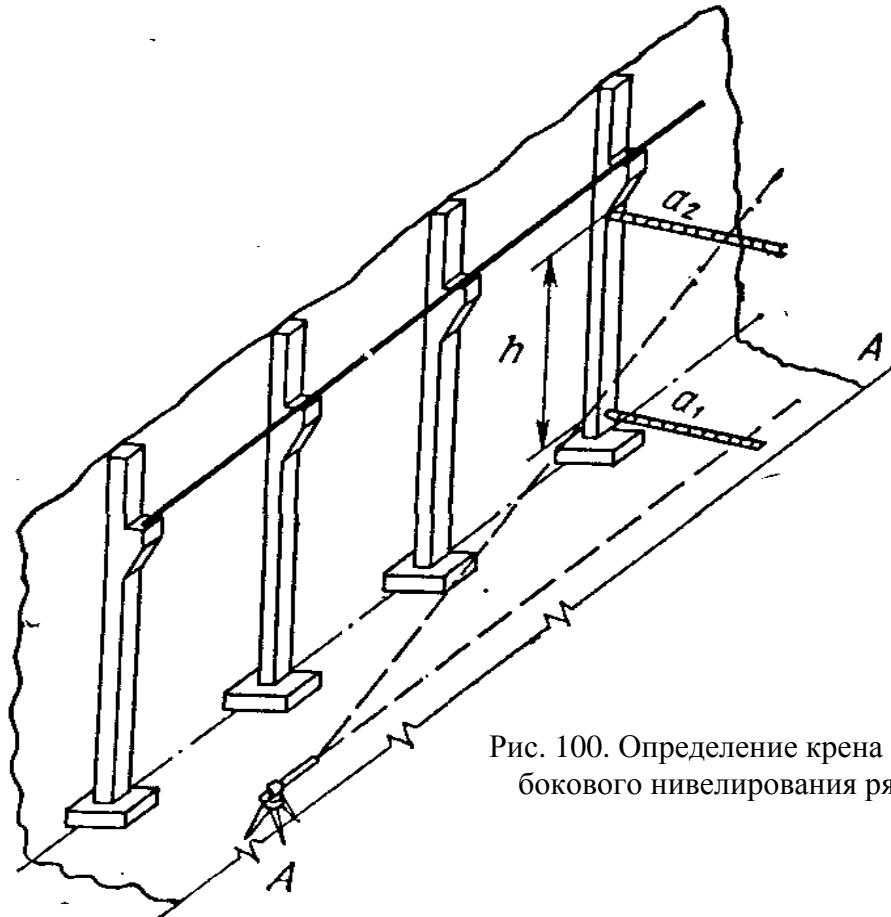


Рис. 100. Определение крена способом бокового нивелирования ряда колонн

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. 100).

Затем прикладывают поочередно к каждой колонне сверху и снизу специальную рейку, берут по ней отсчёты при двух положениях вертикального круга КЛ и КП и выводят средние отсчёты a_1 и a_2 . По разности отсчётов судят о величине и направлении крена:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a_1 - a_2}{h} . \quad (93)$$

По результатам таких измерений могут быть построены графики, характеризующие крен колонн цеха в направлении перпендикулярном оси про-

лета. Такие графики для машинного зала одной из ТЭЦ Нижегородской области представлены на рис. 101.

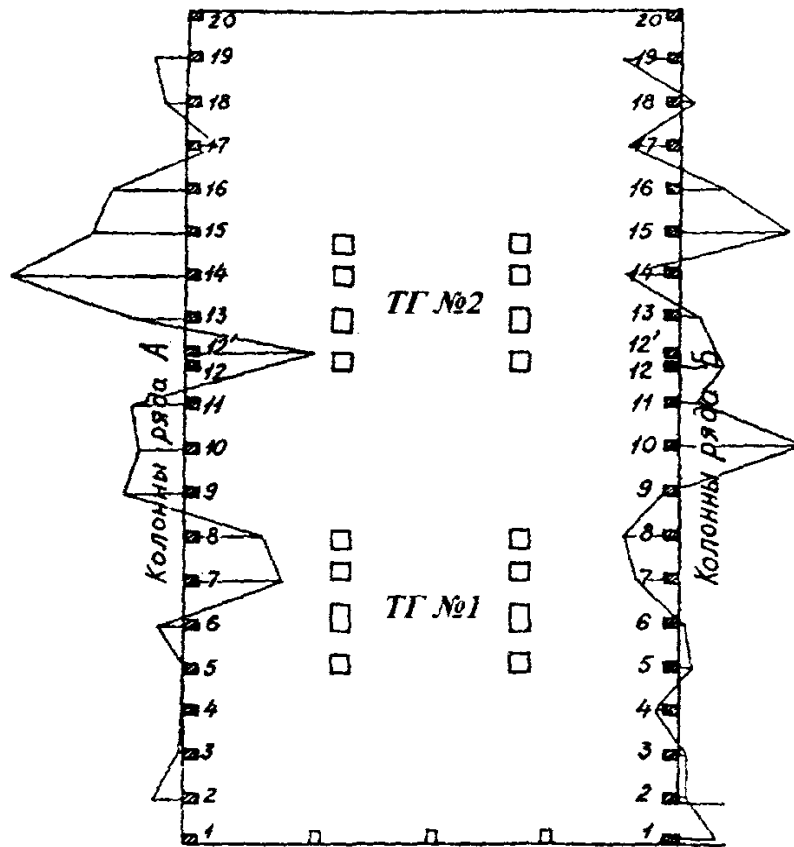


Рис. 101. Схема расположения колонн и графики их полного крена

5.6.9. Использование шнурового отвеса и лазерной рулетки

Этот способ может решить задачу геодезической выверки колонн, если применение перечисленных выше методов затруднено или невозможно. Здесь основные трудности выполнения операции заключаются в подвеске отвеса, регулировании его длины, 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 блочка 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. Наконец, длина отвеса может регулироваться с помощью обычного петлевого узла.

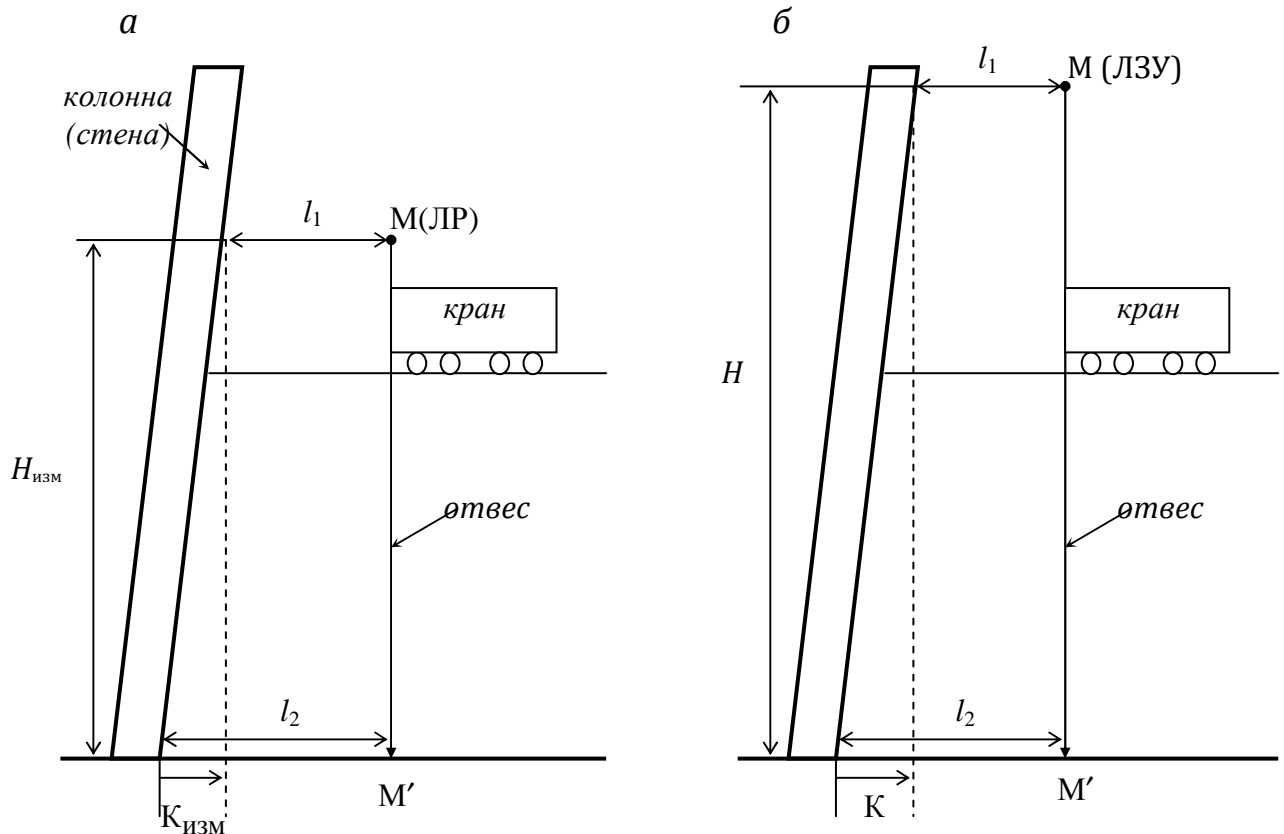


Рис. 102. Контроль вертикальности конструкций с помощью шнурового отвеса и лазерной рулетки ЛР (а) или ЛЗУ (б)

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.

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 $H_{\text{изм}}$ (рис. 102а). Аналогично измеряют на уровне пола цеха от точки M' расстояние l_2 . Величину и направление крена $K_{\text{изм}}$ находят по разности этих расстояний. При необходимости величина

$K_{\text{изм}}$ может быть экстраполирована на всю высоту H колонны (стены) по формуле (30).

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. 102б).

5.6.10. Косвенные способы определения высоты и крена

Косвенные способы с использованием лазерной рулетки (рис. 103) заключаются в следующем.

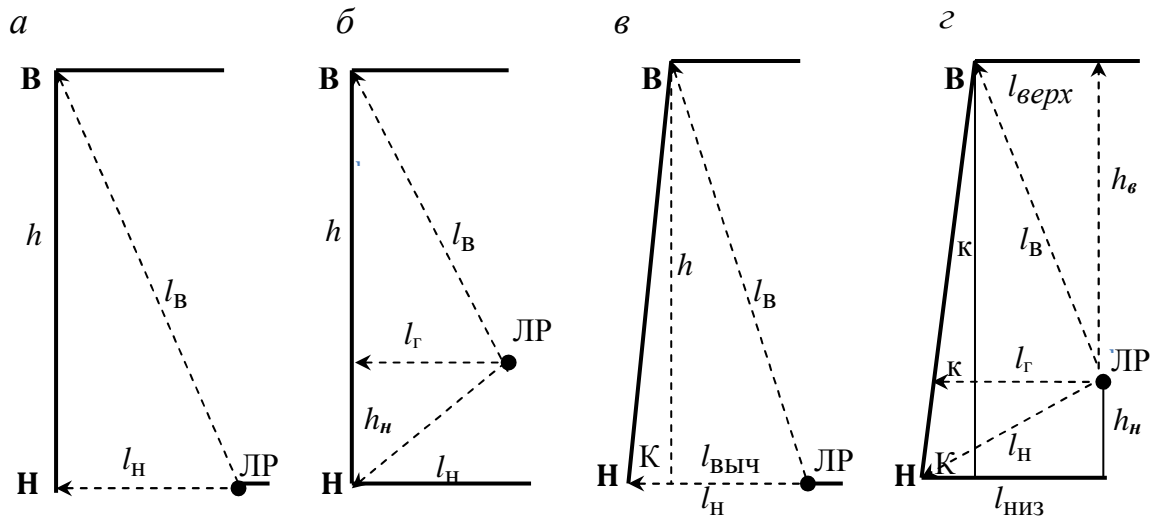


Рис. 103. Схемы косвенного определения высоты и крена строительных конструкций (пунктиром показаны измеряемые лазерной рулеткой ЛР отрезки)

С помощью лазерных рулеток, снабженных кнопкой «Косвенные измерения», можно определять, например, высоту h стены, колонны и др. Для этого (рис. 103а) достаточно, нажав эту кнопку, измерить на уровне пола горизонтальное расстояние l_H до нижней точки H и наклонное расстояние l_B до верхней точки B . На экране дисплея появится результат, соответствующий величине $h = HB$.

В том случае (рис. 103б), 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 $l_Г$ (горизонтальность которого контролируется по уровню на рулетке) и наклонное расстояние l_H , получают расстояние h_H . Аналогичным образом определяют расстояние h_B , измерив вновь горизонтальное расстояние $l_Г$ и наклонное расстояние l_B . Тогда высота строительной конструкции h будет равна сумме $(h_H + h_B)$.

Описанная методика (рис. 103а, б) может быть применена для определения крена K строительной конструкции. В первом случае (рис. 103в) из-

меряют l_H , l_B и h . По значениям l_B и h находят $l_{\text{выч}}$. Величину крена K в линейной мере вычисляют как разность $(l_H - l_{\text{выч}})$. Во втором случае (рис. 103з) измеряют l_H , l_T , l_B и h_B . По значениям l_H и l_T вычисляют h_H и находят высоту конструкции как сумму $(h_H + h_B)$. Вычислив по измеренным значениям l_B и h_B отрезок $l_{\text{верх}}$, определяют на уровне лазерной рулетки величину частного крена κ в линейной мере как разность $(l_T - l_{\text{верх}})$ и полученную величину экстраполируют на всю высоту строительной конструкции, то есть находят полный крен:

$$K = \kappa(1 + h_H : h_B). \quad (94)$$

Если измерить h_H непосредственно, то по значениям l_H и h_H находят отрезок $l_{\text{низ}}$, а надобность в измерении l_T отпадает. Немаловажным достоинством методик, показанных на рис. 103а, 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. 104).

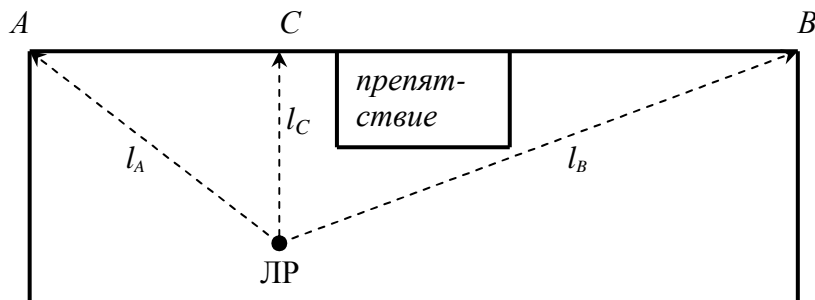


Рис. 104. Схема определения недоступного расстояния с помощью лазерной рулетки

Эта задача может решаться двояко. В первом случае отмечают в углах и на стене точки A , B , C . Располагаются с лазерной рулеткой ЛР в таком месте, с которого имеется видимость на все три точки, причем направление ЛР – 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 ЛР 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 ла-

зерный 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 максимальному 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. Отметим, что недоступное расстояние может быть измерено с помощью электронного тахеометра, о чём будет сказано в соответствующих разделах монографии.

5.7. 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 путём створных измерений от некоторой прямой, называемой референтной или от вертикальной плоскости, формируемых в пределах контролируемого участка.

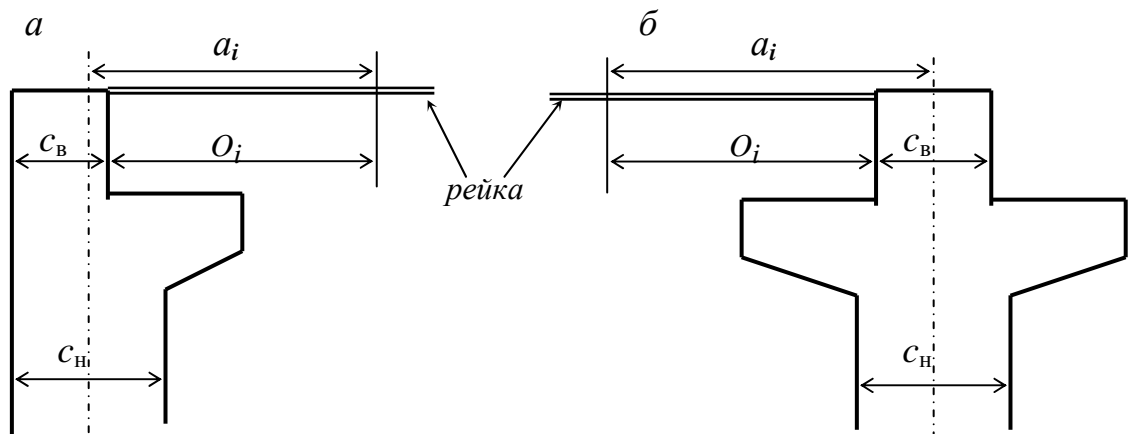


Рис. 105. Схемы к определению приведенных к оси колонны отсчётов

В условиях действующего предприятия выполнение створных измерений от вертикальной плоскости путём 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.

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 отсчёты O_i по вертикальной нити сетки зрительной трубы (рис. 105).

Эти отсчёты приводят к осям колонн, вводя в них поправки, учитывающие размеры колонн понизу c_n и поверху c_b . Так, в первом случае (рис. 105а) приведённый отсчёт $a_i = O_i + c_b - c_n/2$, а во втором случае (рис. 105б) $a_i = O_i + c_b/2$. Причём, проекция визирной оси зрительной трубы теодолита на горизонтальную плоскость будет играть роль референтной линии, относительно которой ряд колонн может находиться слева или справа (рис. 106).

Произвольное расположение референтной линии требует определения её 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. 106). 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. 106, 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:

$$l_i = a_i - (a_n - H)(1 - S/S_i) - (a_k - K) S/S_i. \quad (95)$$

В этом выражении вместо отношения расстояний S/S_i можно использовать соответствующее отношение номеров колонн i/n , а значения H и K вво-

дить 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 .

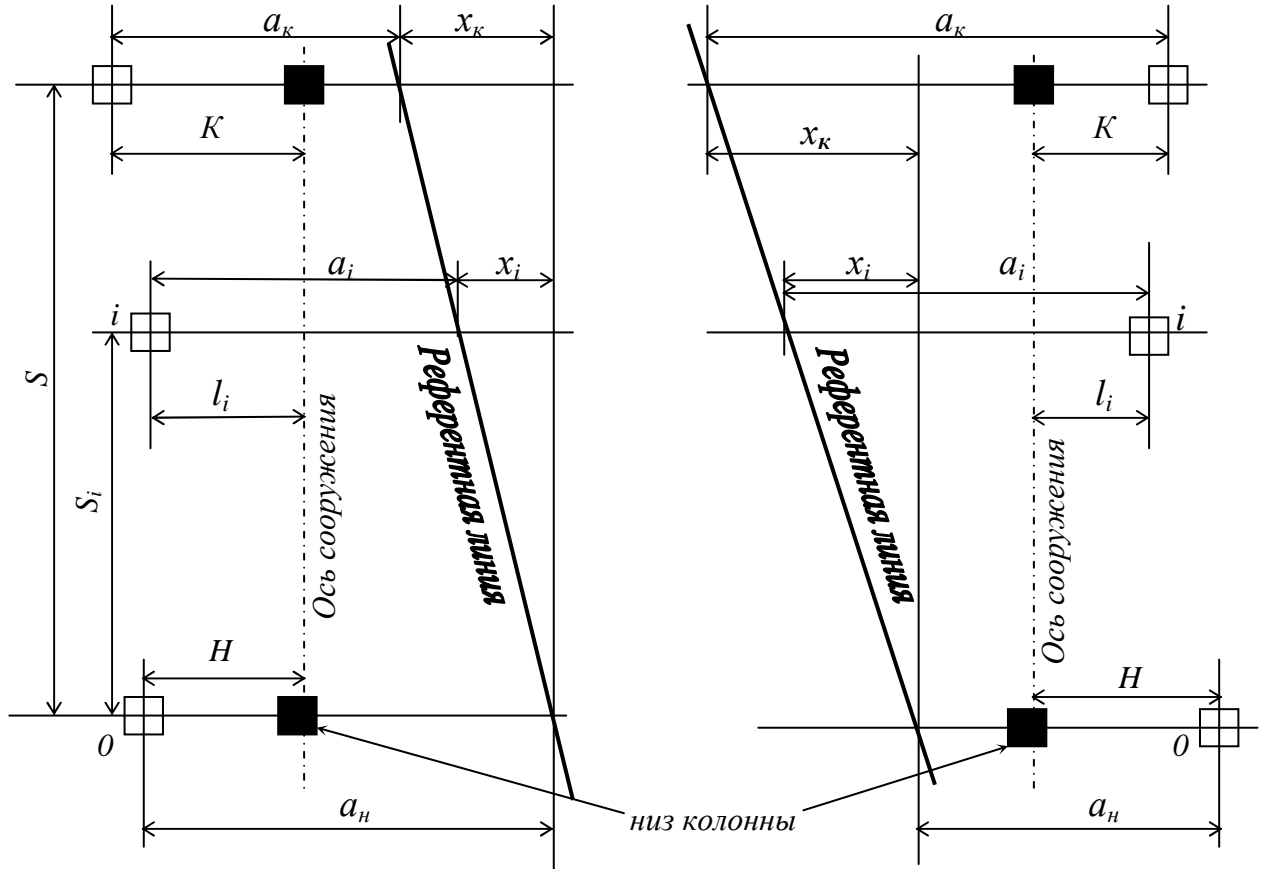


Рис. 106. Схемы к определению отклонения верха колонн от оси сооружения

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. 14 результаты измерений и вычислений даны в миллиметрах.

Результаты измерений приводят к осям колонн, вводя в них поправки, учитывающие размеры колонн левого и правого ряда понизу L_H , P_H и поверху L_B , P_B . Так, согласно рис. 107, приведенное к оси сооружения расстояние между колоннами L_i составит:

$$L_i = L_1 + L_2 + (L_B + P_B) - (L_H + P_H)/2, \quad (96)$$

а приведенный к оси колонны отсчёт a_i будет:

$$a_i = O_i + L_B - L_H/2. \quad (97)$$

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	
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 пролёте. Это обеспечивается сочетанием бокового нивелирования верха колонн одного ряда и лазерно-зеркального способа измерения расстояний между колоннами в пролёте с последующим приведением результатов измерений к осям сооружения.

Процесс измерений заключается в следующем (рис. 107). 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. При этом проекция визирной оси зрительной трубы теодолита на горизонтальную плоскость будет играть роль референтной линии, произвольно ориентированной относительно оси сооружения (рис. 107). 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 .

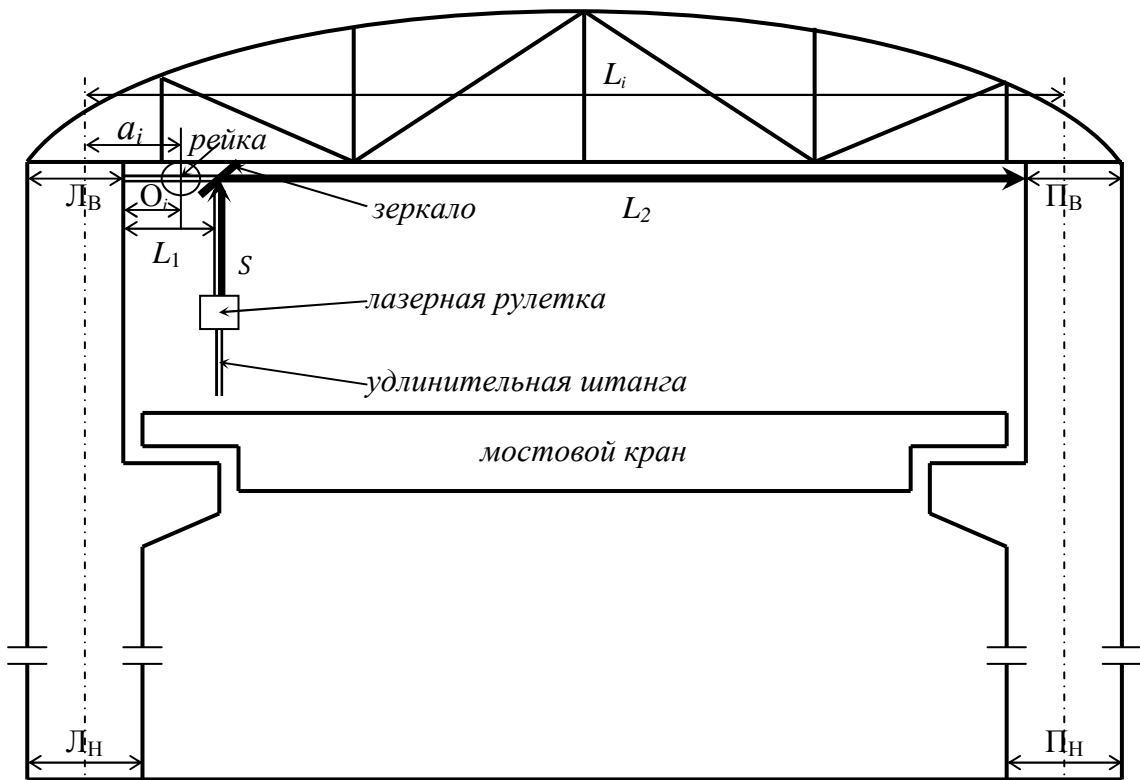


Рис. 107. Схема к определению приведенных к осям колонн результатов измерений

Исследования показывают, что существенное влияние на величину СКО m_{L_i} оказывают ошибки значений ширины колонн понизу и особенно поверху. Для уменьшения этого влияния необходимо производить измерения $Л_В$, $П_В$ и $Л_Н$, $П_Н$ для каждой колонны. На уровне пола цеха эту операцию выполнить несложно. Что касается определения $Л_В$ и $П_В$ на уровне оголовка колонн, то здесь можно поступить следующим образом (рис. 108).

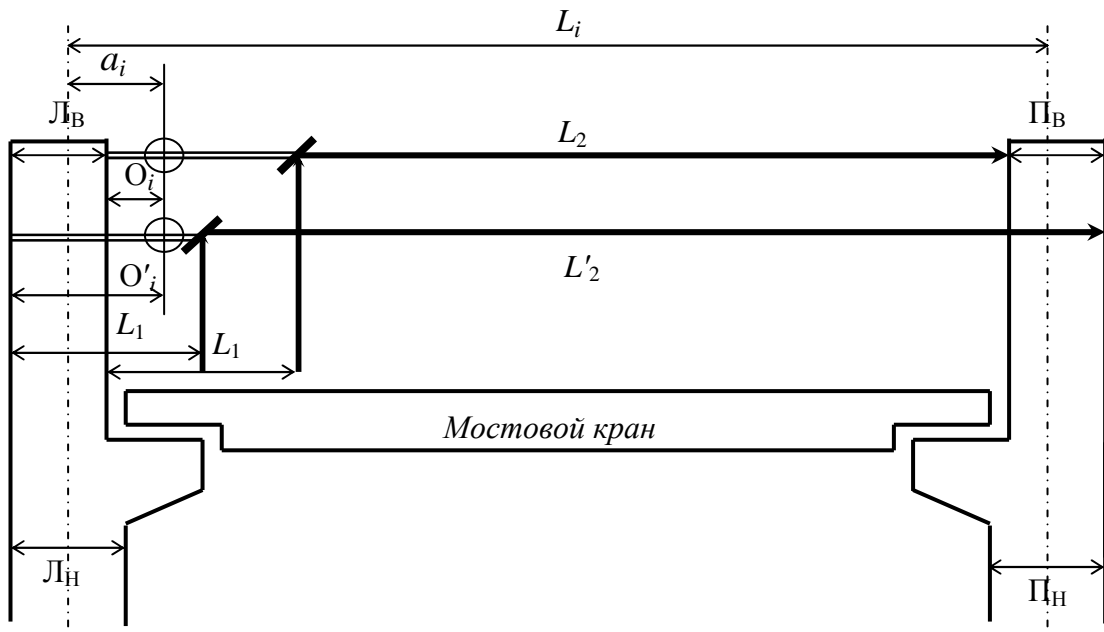


Рис. 108. Схема к определению приведенного к осям сооружения расстояния между колоннами

Так, если параллельно с измерениями O_i и L_2 между внутренними гранями колонн измерить O'_i и L'_2 между внешними гранями колонн, то получим:

$$L_i = L_1 + L'_2 - (Л_H + П_H)/2. \quad (98)$$

Как следует из выражения (98), для определения расстояния между колоннами L_i достаточно (в отличие от схемы на рис. 107) измерить только расстояние L'_2 и ширину колонн $Л_H$ и $П_H$ понизу.

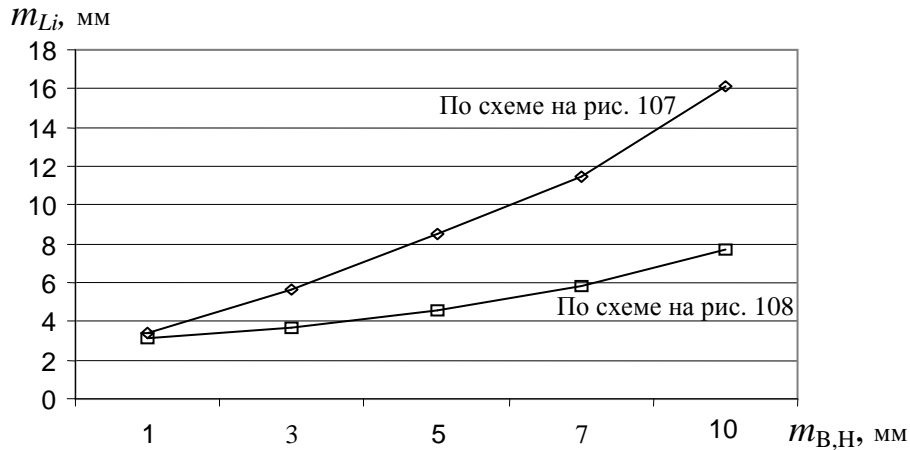


Рис. 109. Графики зависимости ошибки m_{L_i} от ошибок m_B и m_H

Для сравнения точности определения расстояния L_i по схеме на рис. 107 и по схеме на рис. 108 были подсчитаны СКО m_{L_i} при $m_{L_2} = m_{L'_2} = 3$ мм для различных значений ошибок определения ширины колонн поверху и понизу $m_B = m_H = 1; 3; 5; 7$ и 10 мм. Полученные результаты представлены на графиках (рис. 109).

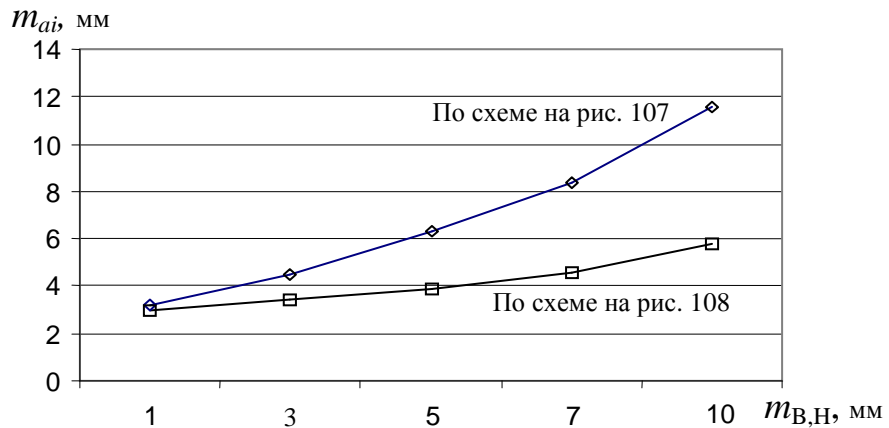


Рис. 110. Графики зависимости ошибки m_{a_i} от ошибок m_B и m_H

Для сравнения точности определения a_i по схеме на рис. 107 и по схеме на рис. 108 (где $a_i = O'_i - L_H/2$) подсчитаны СКО m_{a_i} при $m_{O_i} = m_{O'_i} = 3$ мм для различных значений $m_B = m_H = 1; 3; 5; 7$ и 10 мм. Полученные результаты представлены на графиках (рис. 110). Из этих графиков следует, что выполнение измерений по схеме на рис. 108 позволяет повысить точность определения отсчёта a_i примерно в два раза.

Произвольное расположение референтной линии (визирной оси теодолита) требует определения её ориентирования относительно ближайшей 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. 111).

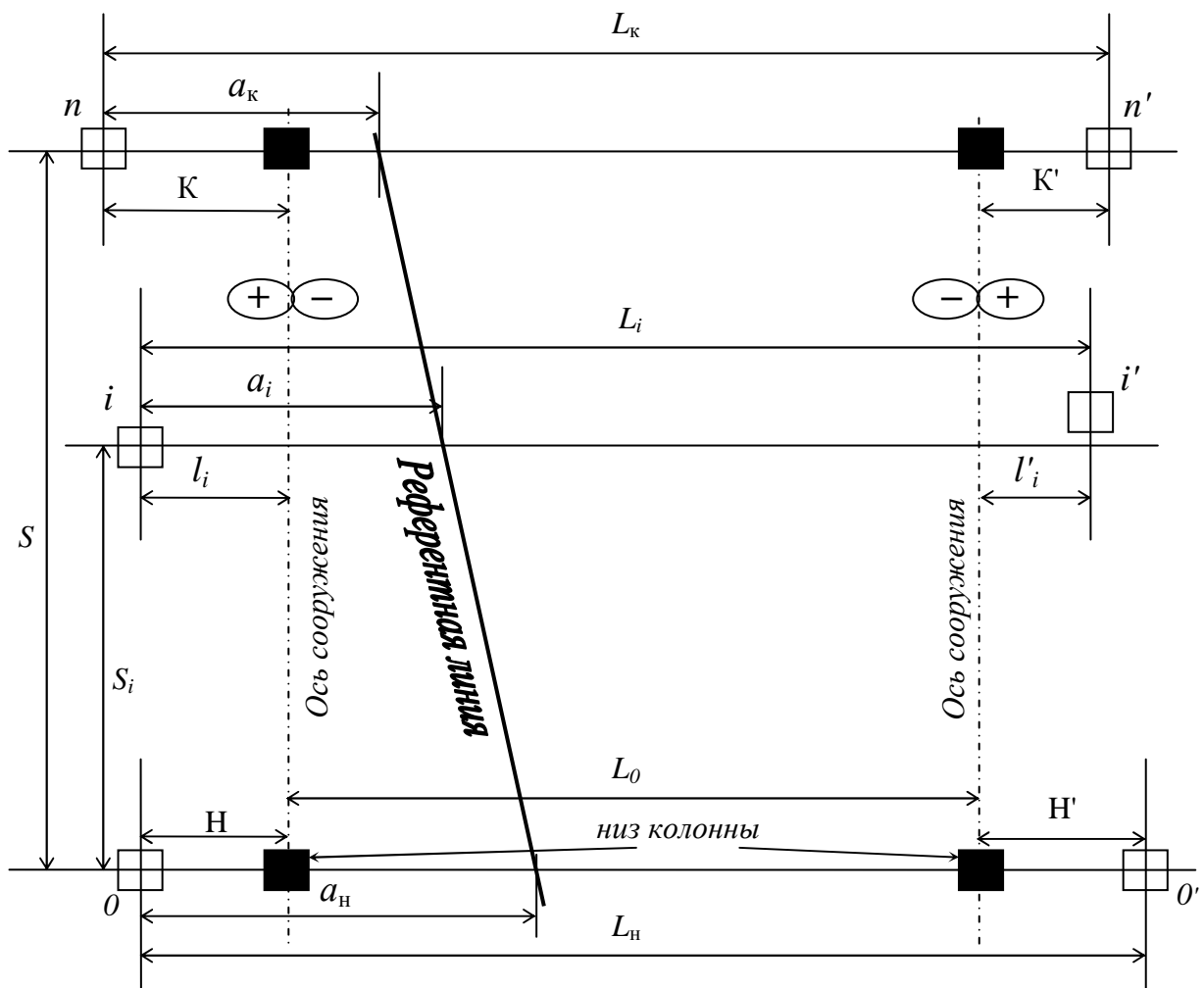


Рис. 111. Схема к определению отклонения верха колонн от оси сооружения

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 $0, 1, 2 \dots i \dots n$. В соответствии с этим отклонение верха i -той колонны l_i можно найти по формуле

$$l_i = a_i - (a_n - H)(1 - S/S_i) - (a_k - K)S/S_i = a_i - (a_n - H)(1 - i/n) - (a_k - K) i/n, \quad (99)$$

причём, значения H и K следует вводить в формулу (99) с соответствующим знаком «плюс» или «минус». В результате вычислений можно получить положительное или отрицательное значение l_i . Положительное значение l_i соответствует отклонению верха колонны влево, отрицательное – вправо.

Рассмотрим различные случаи расположения верха колонн относительно осей сооружения (рис. 112) 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.

Зная расстояние L_0 между осями сооружения (рис. 111) можно определить отклонение l'_i верха i' -той колонны правого ряда по формуле (100), подставляя в нее значение l_i со своим знаком:

$$l'_i = L_i - L_0 - l_i. \quad (100)$$

В табл.15 показаны примеры обработки результатов измерений для восьми различных случаев, приведенных на рис. 112. Все величины выражены в миллиметрах.

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 пролёте на уровне их оголовка.

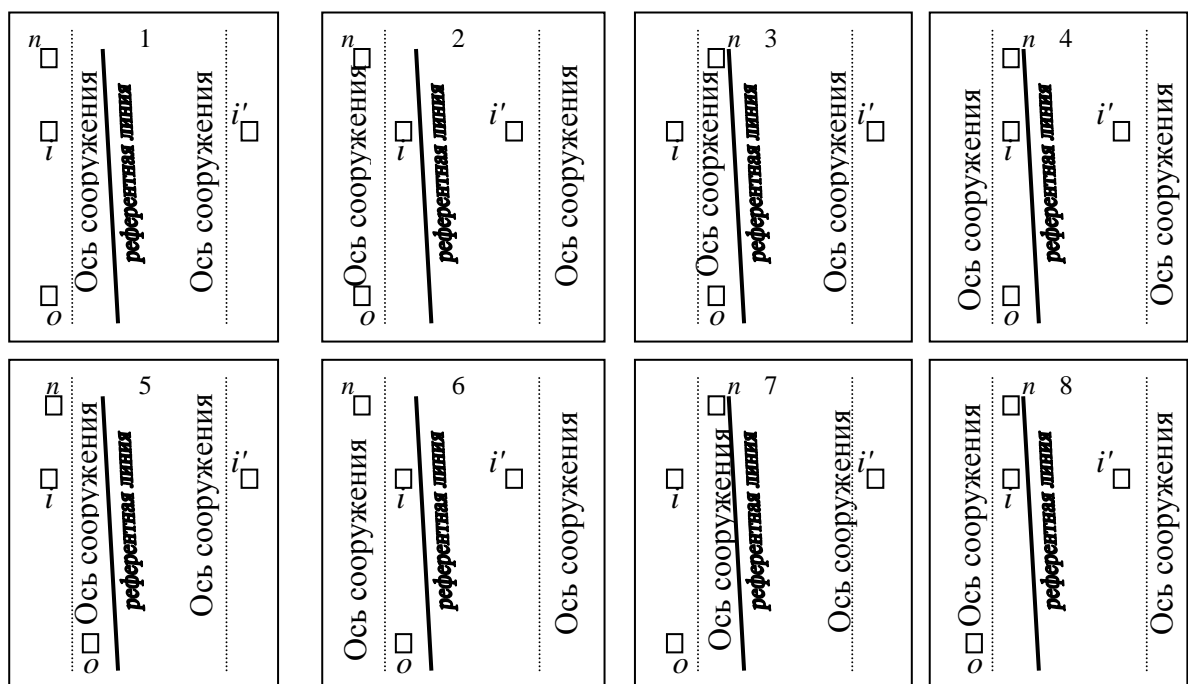


Рис. 112. Различные случаи расположения верха колонн относительно оси сооружения

**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

Кроме того, описанная методика может получить своё дальнейшее развитие, если одновременно с контролем пространственного положения колонн осуществлять, например, определение планового положения подкрановых рельсов и измерение ширины колеи кранового пути.

Глава 6. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Геодезическая съёмка проверки положения подкрановых конструкций в плане и по высоте проводится в зданиях с тяжелым и весьма тяжелым режимом работы кранов не реже одного раза в год, а с лёгким и средним режимом работы – не реже одного раза в 3 года [3].

Она включает следующие основные 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.

6.1. Определение планового положения подкрановых рельсов

Оно заключается в контроле прямолинейности рельсов и их взаимного расположения способом непосредственных или косвенных измерений. Отклонение в плане от прямой линии допускается не более 20 мм на длине 40 м, а уширение (сужение) колеи не более 15 мм [5].

Определение прямолинейности может осуществляться различными способами створных измерений: 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. 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 расчётным путём.

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.

6.1.1. Непосредственный способ

Этот 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 – путём соответствующих вычислений по значениям измерений ширины колеи подкранового пути (рис. 113).

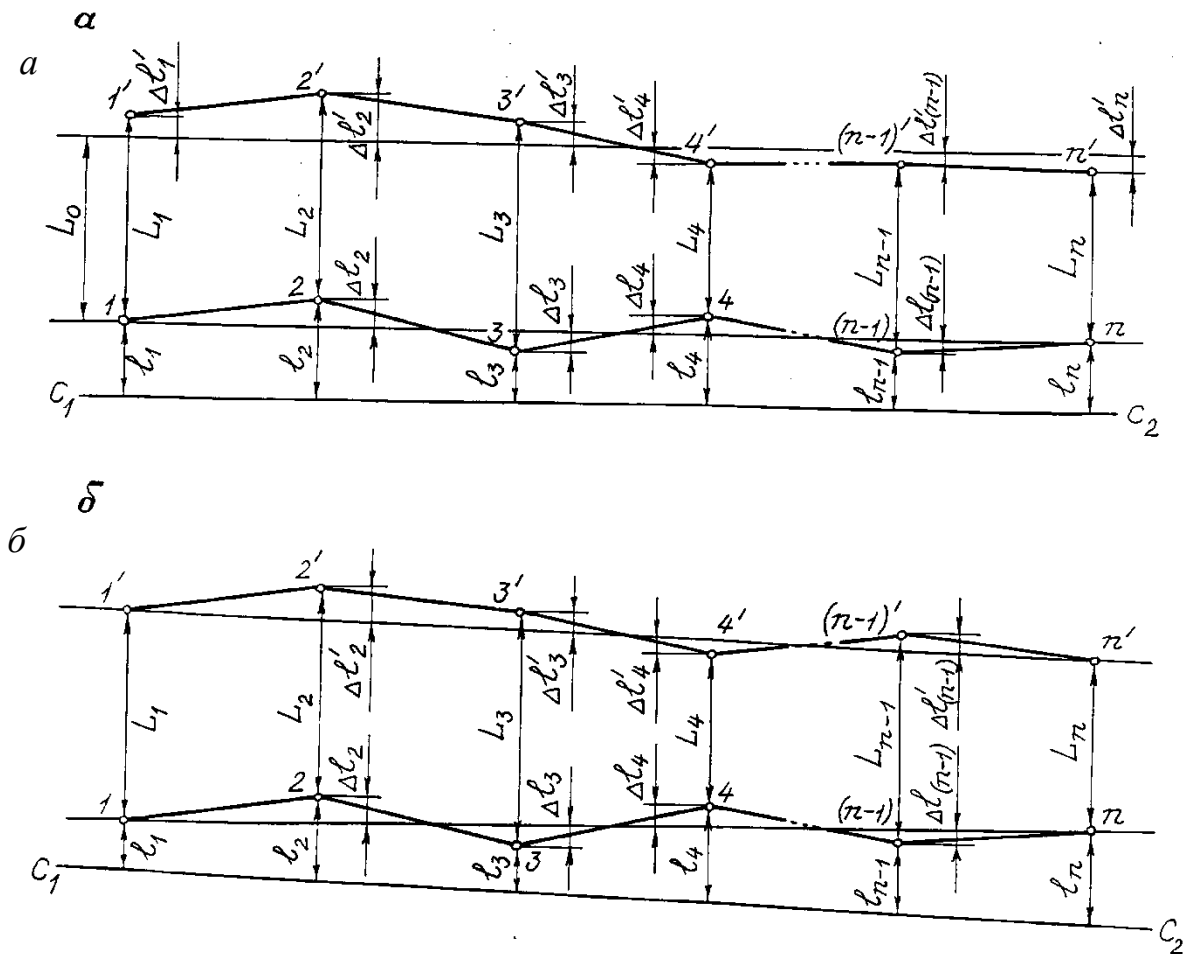


Рис. 113. Схемы к определению планового положения подкрановых рельсов

Для удобства последующих вычислений створ C_1C_2 рекомендуется располагать на одинаковых расстояниях $l_1 = l_n$ от начальной точки 1 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: $\Delta l_i = l_i - l_n$, причём, при такой схеме измерений (рис. 113а) 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 1- 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 1- 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 1'- n' , соединяющей его начальную и конечную точки, можно определить по формуле

$$\Delta l'_i = \Delta l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} L_1 - \frac{i-1}{n-1} L_n, \quad (101)$$

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. 113б), отклонения Δl_i оси правого рельса от прямой 1- n вычисляются по формуле

$$\Delta l_i = l_i - \frac{n-i}{n-1} l_1 - \frac{i-1}{n-1} l_n, \quad (102)$$

а отклонения $\Delta l'_i$ оси левого рельса от прямой 1'- n' – по формуле

$$\Delta l'_i = l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} (l_1 + L_1) - \frac{i-1}{n-1} (l_n + L_n). \quad (103)$$

Створ C_1C_2 наиболее просто можно задать с помощью визирной оси зрительной трубы теодолита с увеличением не менее 25^x , а отклонения l_1, l_2, \dots, l_n определить методом бокового нивелирования (рис. 114), используя специальное приспособление [8].

Теодолит устанавливают в начале рельсового пути и с помощью нитяного или оптического отвеса берут по рейке приспособления отсчет l_1 (рис. 114а). 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 $l_n = l_1$.

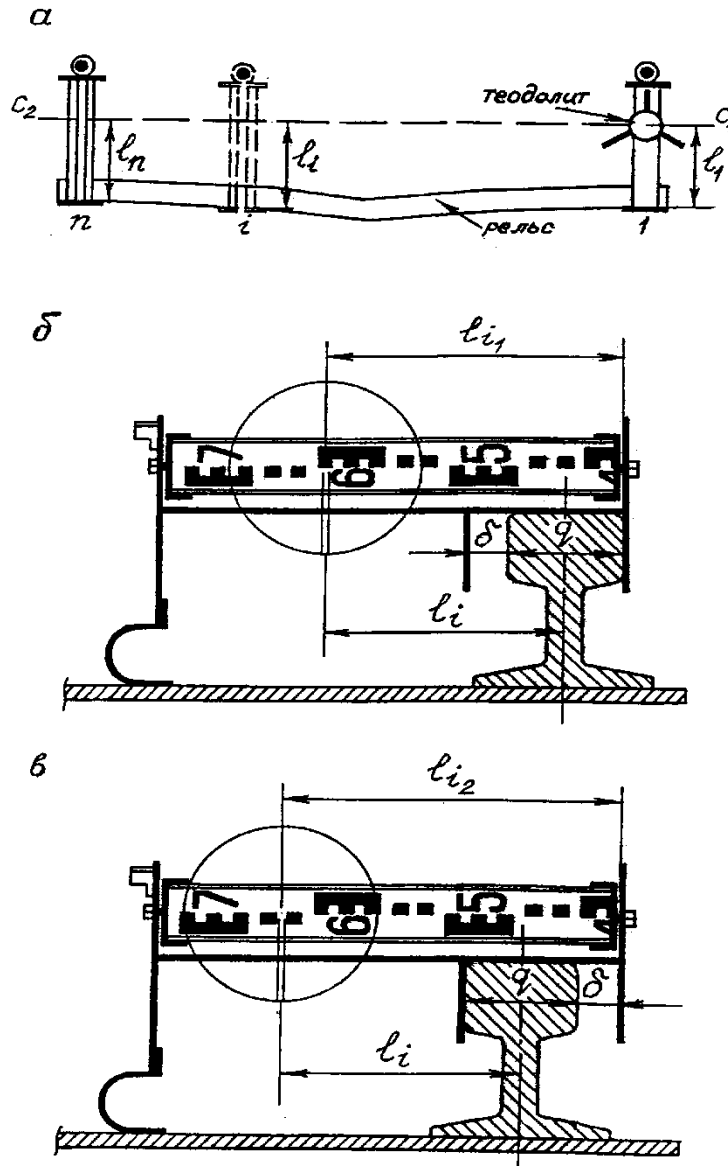


Рис. 114. Схема бокового нивелирования (а) с приведением результатов к оси рельса (б) и (в)

Последовательно устанавливая приспособление в заданных точках съёмки берут (с точностью 1 мм) отсчёты $l_{i,1}$ и $l_{i,2}$, приводя в соприкосновение с боковой гранью головки рельса вначале один упор (рис. 114б), а затем другой (рис. 114в). Среднее арифметическое из этих отсчётов даст приведенное к оси рельса расстояние l_i до створа C_1C_2 , а их разность равна δ , по ве-

личине которой (зная расстояние между упорами) можно определить ширину головки рельса q и судить о её износе.

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

6.1.2. Способ фотограмметрических створов

Он заключается в том, что створ 1- n (рис. 113а) 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 съёмке всякий раз ориентируется на последнюю точку n общего створа.

Считаем перспективным развитие этого способа путём использования



Рис. 115. Схема фотографического способа контроля прямолинейности рельса

цифровых фотоаппаратов, совместимых с персональным компьютером. Здесь можно поступить двояко.

Во-первых, отцентрировав фотоаппарат в начальной точке 1 (рис. 115) и сфотографировав рельс по направлению на конечную точку n , можно сразу от этой референтной линии 1- n определять отклонения Δl_i от прямой (рис. 113а).

Во втором случае можно производить измерения от произвольной референтной линии РЛ. Отклонения Δl_i вычисляются по разности l_n и l_1 и расстояниям S . В обоих случаях переход от значений l в мегапикселях к

метрической системе единиц осуществляется путём масштабирования снимков с помощью, например, горизонтально расположенной нивелирной рейки.

6.2. 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 съёмки получают пространственные координаты осевых точек, то можно осуществить комплексный контроль подкрановых путей в плане и по высоте. В работе [8] детально описаны различные непосредственные и косвенные способы измерения ширины колеи мостовых кранов. Здесь и далее остановимся на новых современных способах, основанных на использовании лазерной рулетки, лазерно-зеркального устройства и электронного тахеометра.

6.2.1. Измерения лазерной рулеткой

Измерения расстояний L между осями рельсов мостовых кранов может осуществляться по трем схемам [11].

В первой схеме (рис. 116а) 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. 116б) измеряя расстояние между упором для рулетки и экраном, установленными 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, закрепленных на основаниях с двумя вертикальными щёками (рис. 116в, г). Расстояние между щёками основания упора и основания экрана одинаковы и превышают ширину головки рельса q на величину δ .

Вначале измеряют расстояние L_1 , когда щёки оснований упора и экрана прилегают соответственно к внутренней грани правого рельса и к внешней грани левого рельса (рис. 116в). Затем измеряют расстояние L_2 , когда щёки

прилегают соответственно к внешней грани правого рельса и к внутренней грани левого рельса (рис. 116з).

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, приведённый к оси рельсов. Закрепление упора и экрана на головках рельсов может осуществляться с помощью струбцин или магнитных фиксаторов.

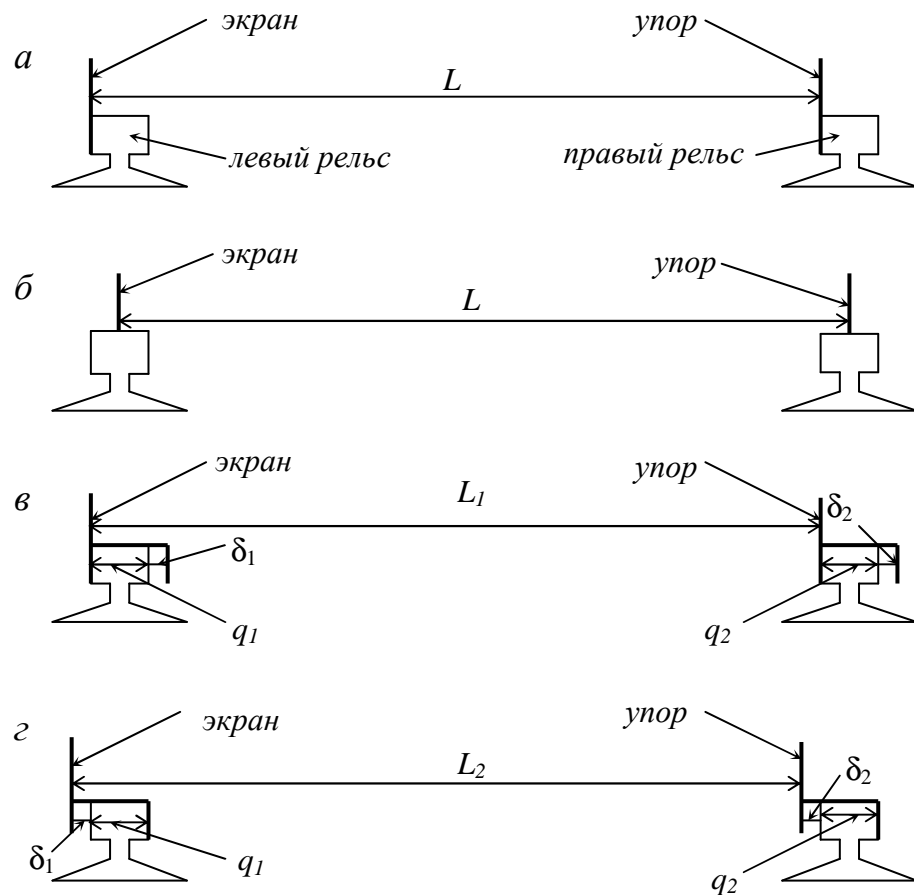


Рис. 116. Схемы измерения расстояний между осями подкрановых рельсов лазерной рулеткой

Наконец, измерение расстояний между рельсами может осуществлять один человек, используя в качестве упора шейку одного рельса, а в качестве экрана шейку 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. 117).

6.2.2. 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.

Установив ЛЗУ на оси , например, левого рельса, а экран-отражатель на оси правого рельса, включают лазерную рулетку, направляют лазерный пучок на экран и, вычтя 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 (о чём будет сказано ниже).

6.2.3. Измерения с помощью электронного тахеометра

Здесь предусматривается 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.

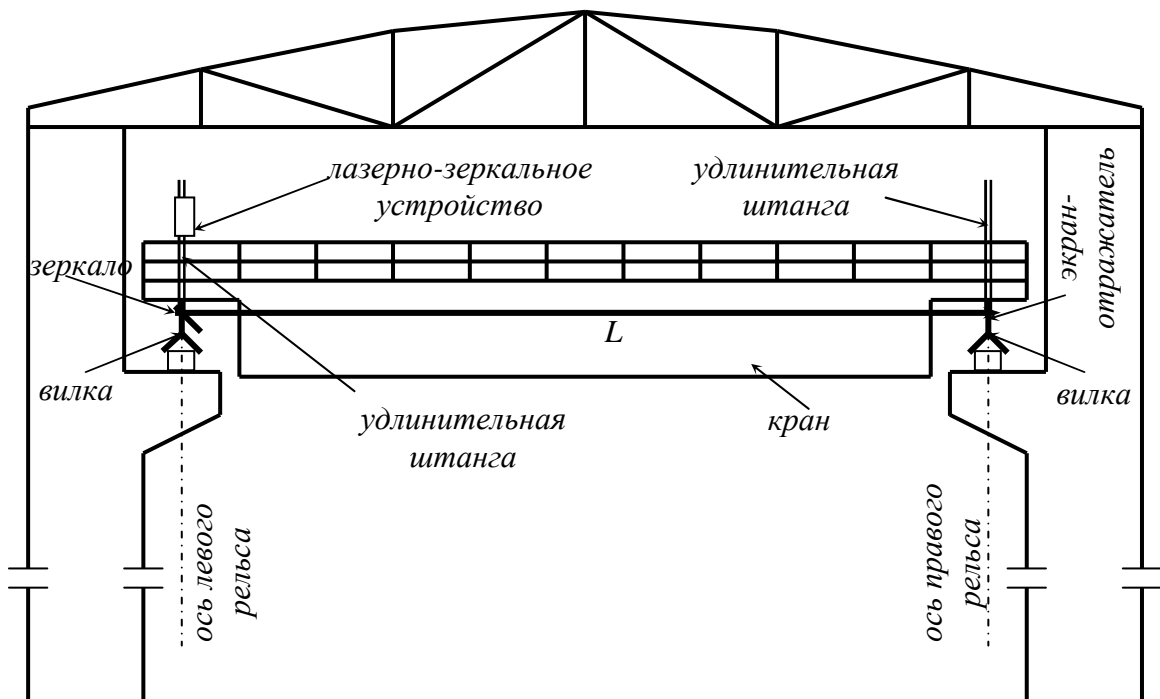


Рис. 117. Схема измерения расстояний между осями подкрановых рельсов лазерно-зеркальным устройством

Одним из таких способов измерений является так называемый базисный способ, сущность которого состоит в следующем (рис. 118). На полу цеха выбирают две точки A и B с таким расчётом, чтобы они располагались в начале и конце кранового пути, а линия AB была параллельна рельсовому пути.

В условной системе координат 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 , причём для контроля вновь определяют координаты средних точек 5 и $5'$.

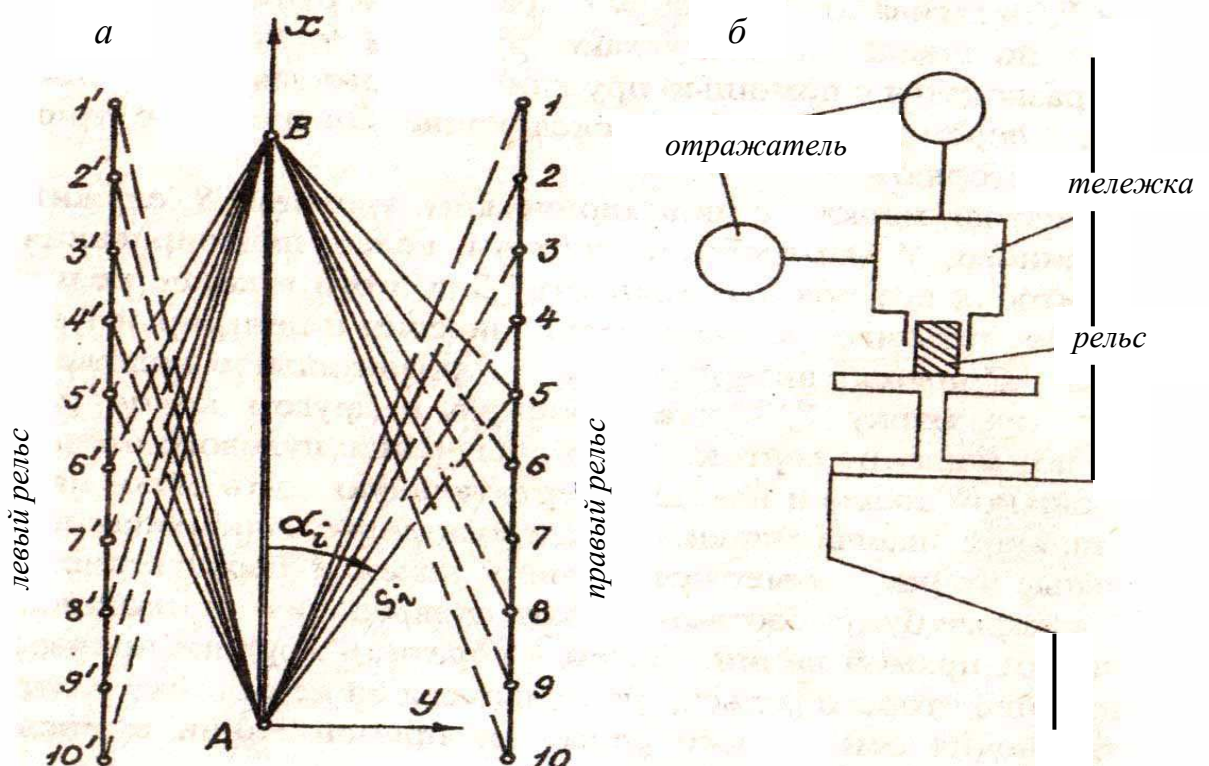


Рис. 118. Схема измерений с помощью электронного тахеометра (а) и измерительной тележки (б)

Фактическую ширину колеи L_i вычисляют по формуле

$$L_i = y_i - y_{i'} , \quad (i, i' = 1...n), \quad (104)$$

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

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

$$\Delta l_i^n = y_i - \frac{\sum y_i}{n}, \quad \Delta l_{i'}^n = \Delta L_i + \Delta l_i^n, \quad (105)$$

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

В том случае, когда линия AB непараллельна подкрановым рельсам (рис. 119), обработку результатов измерений можно производить следующим образом.

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:

$$\beta = \arctg \frac{\Delta y_{1,n}}{\Delta x_{1,n}}, \quad \beta' = \arctg \frac{\Delta y_{1',n'}}{\Delta x_{1',n'}}, \quad (106)$$

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

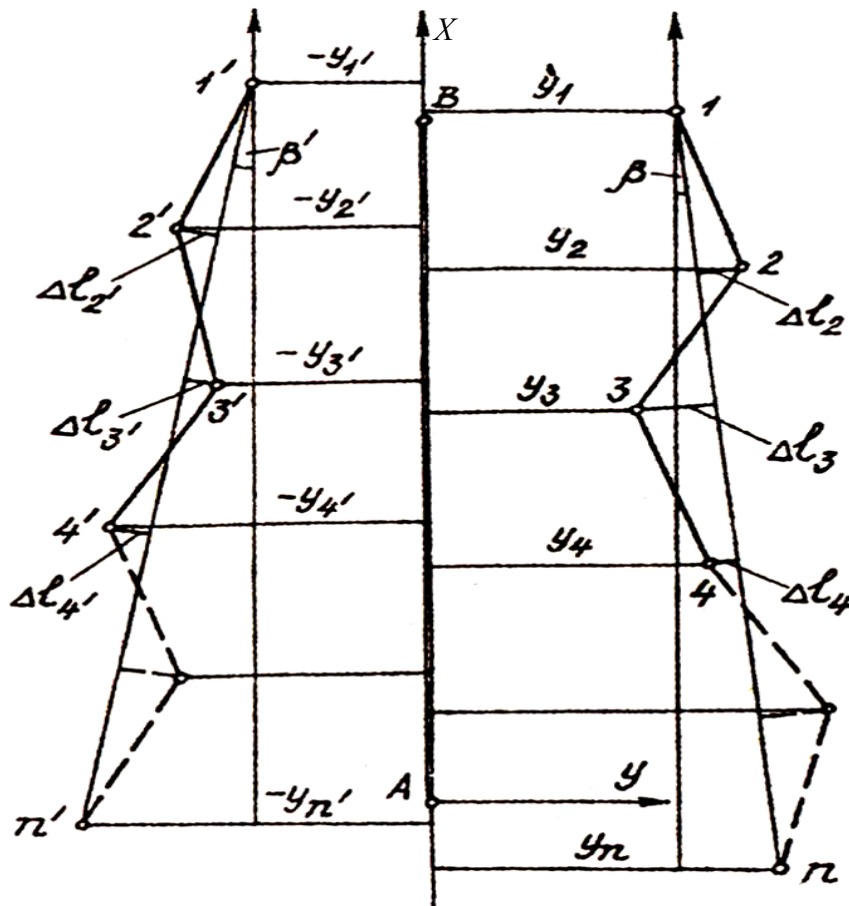


Рис. 119. Схема определения отклонений от референтных линий

В формулах (106) Δx всегда величина положительная, в то время как Δy может быть как положительной, так и отрицательной. 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:

$$\Delta l_i = \Delta y_{1,i} \cos \beta - \Delta x_{1,i} \sin \beta, \quad \Delta l_{i'} = \Delta y_{1',i'} \cos \beta' - \Delta x_{1',i'} \sin \beta', \quad (107)$$

где $\Delta x_{1,i} = x_1 - x_i$, $\Delta x_{1',i'} = x_{1'} - x_{i'}$, $\Delta y_{1,i} = y_1 - y_i$, $\Delta y_{1',i'} = y_{1'} - y_{i'}$.

В формулах (107) необходимо учитывать знаки: Δx (величина всегда положительная), 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:

$$L_i = \sqrt{\Delta x_{i,i'}^2 + \Delta y_{i,i'}^2}, \quad (108)$$

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. 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 [8] для любой съёмочной точки:

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

$$a_\delta = g \cos \alpha \sin \delta, \quad b_\delta = g \sin \alpha \sin \delta, \quad c_\delta = -g \cos \delta, \quad (109)$$

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

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

Затем следует составить матрицу A коэффициентов исходных уравнений ошибок:

$$A = \begin{pmatrix} a_\alpha & b_\alpha & c_\alpha \\ a_\delta & b_\delta & c_\delta \\ a_s & b_s & c_s \end{pmatrix} \quad (110)$$

и найти матрицу N коэффициентов системы нормальных уравнений:

$$N = A^T A = \begin{pmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ab] & [bb] & [bc] \\ [ac] & [bc] & [cc] \end{pmatrix}. \quad (111)$$

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

Матрицу N можно получить следующим образом:

$$\begin{aligned} N &= N_{лин} + p_{\alpha,\delta} N_{уг}, \quad (\text{при } p_s = 1), \\ N &= p_s N_{лин} + N_{уг}, \quad (\text{при } p_{\alpha,\delta} = 1), \\ N &= p_s N_{лин} + p_{\alpha,\delta} N_{уг}, \quad (\text{при } p_s \neq p_{\alpha,\delta} \neq 1). \end{aligned} \quad (112)$$

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 (109). Так, если эти градиенты имеют размерность $с/см$, 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 :

$$K = \mu^2 Q = \mu^2 N^{-1} = \mu^2 \begin{pmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{xy} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{xz} & Q_{yz} & Q_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z^2 \end{pmatrix}, \quad (113)$$

где σ_x , 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.

Как отмечалось выше, в работе [8] рассмотрены различные способы геодезического контроля плано-высотного положения путей мостовых кранов. Для этого, как правило, требуется выполнение трёх операций: опре-

деление непрямолинейности рельсов, определение ширины колеи и нивелирование подкрановых рельсов.

Наличие у современных электронных тахеометров клавиши SDh даёт возможность предложить новый линейно-угловой способ контроля пространственного положения путей мостового крана. Его сущность поясняется рис. 120 и заключается в следующем.

Устанавливают электронный тахеометр в точке Т, расположенной между подкрановыми рельсами, и ориентируют визирную ось зрительной трубы по направлению, параллельному рельсовому пути. Измеряют на осевые точки рельсов 1 и 1', 2 и 2', 3 и 3', ..., n и n' (расположенные напротив колонн) горизонтальные углы β_1 и $\beta_{1'}$, β_2 и $\beta_{2'}$, β_3 и $\beta_{3'}$, ..., β_n и $\beta_{n'}$, а с помощью клавиши SDh находят горизонтальные проложения D_0 и $D_{0'}$, D_1 и $D_{1'}$, D_2 и $D_{2'}$, D_3 и $D_{3'}$, ..., D_n и $D_{n'}$ и превышения h_0 и $h_{0'}$, h_1 и $h_{1'}$, h_2 и $h_{2'}$, h_3 и $h_{3'}$, ..., h_n и $h_{n'}$ каждой осевой точки над точкой стояния тахеометра.

По измеренным горизонтальным проложениям D_i и $D_{i'}$ находят ширину колеи $L_{i-i'}$:

$$L_{i-i'} = L_i + L_{i'} = D_i \sin \beta_i + D_{i'} \sin \beta_{i'}, \quad (114)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$; $i' = 1', 2', 3', \dots, n'$.

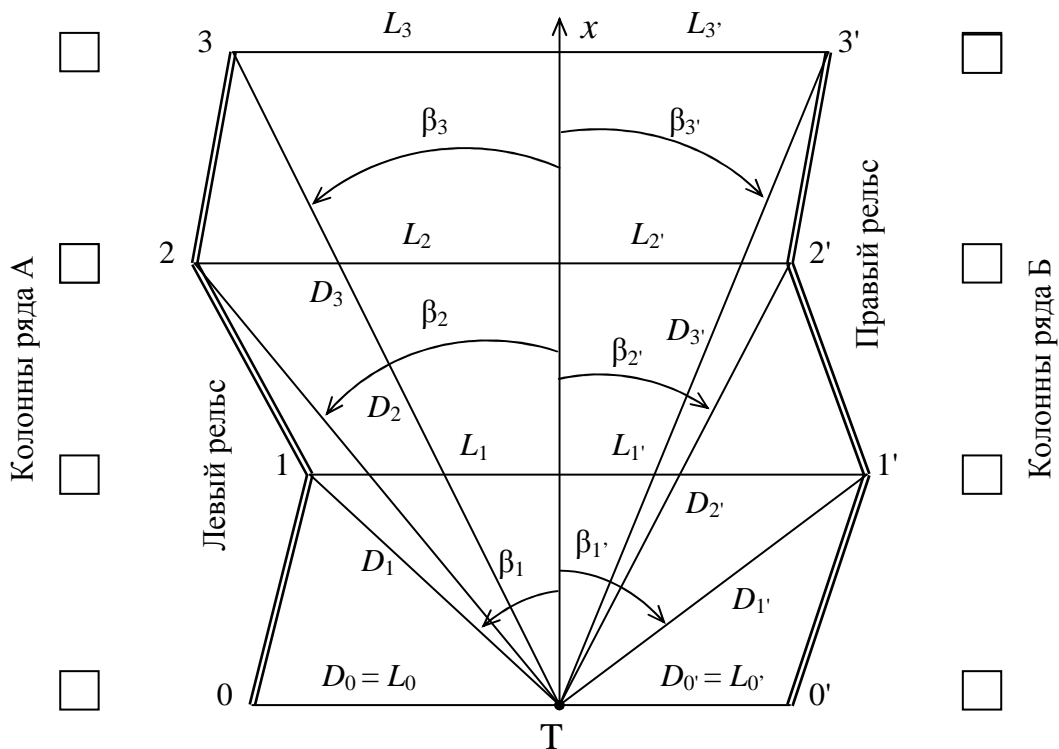


Рис. 120. Схема линейно-углового способа измерений

Для различных значений $L = 10; 20; 30; 40$ м и различных соотношений L/D от 2,0 (для пролёта 0-0' на рис. 120) до 0,01 подсчитаны СКО m_L при СКО линейных измерений $m_D = 5$ мм и угловых измерений $m_\beta = 5''$. Пределы значений L от 10 до 40 м выбраны исходя из опыта геодезического контроля

пространственного положения подкрановых путей промышленных предприятий Нижегородской области. Полученные результаты представлены на графиках (рис. 121).

На основании этих графиков можно констатировать, что СКО m_L при соотношении L/D от 2,0 до 0,4 практически не зависит от величины L . Эта ошибка достигает своего минимального значения при соотношении L/D в пределах от 0,5 (40 м) до 0,2 (10 м). До этих пределов L/D основное влияние на точность определения L оказывает ошибка линейных измерений. Дальнейшее уменьшение соотношения L/D приводит к уменьшению влияния на величину m_L СКО m_D линейных измерений и увеличению влияния на m_L ошибки m_β угловых измерений.

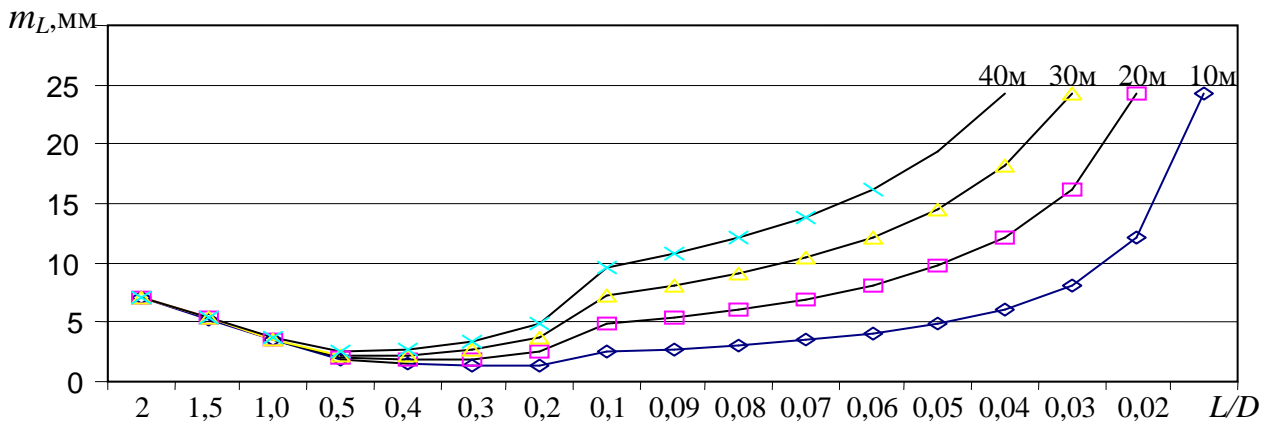


Рис. 121. Графики зависимости ошибки m_L от соотношения L/D для $m_D = 5$ мм и $m_\beta = 5''$

Таким образом, имея график для конкретных значений L , m_D и m_β , можно, задавшись требуемой точностью m_L определения ширины колеи, выбрать наиболее оптимальный вариант соотношения L/D . Отметим, что значения m_D и m_β зависят от марки имеющегося в наличии электронного тахеометра. В настоящее время выпускаются электронные тахеометры с различной точностью измерений: углов от 0,5 до 20'', расстояний от 1-2 до 10 мм. Причём, многие из них могут работать в безотражательном режиме.

По значениям $L_0, L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ и $L_0', L_1', L_2', L_3', \dots, L_n'$ (рис. 120) могут быть построены графики, характеризующие отклонения осей соответственно левого и правого рельсов от прямой (от оси x).

Отклонения рельсов от прямой линии 0-3 и 0-3', соединяющей их начальные и конечные точки (рис. 122), можно определить графически или вычислить, используя разности $\Delta L_3 = L_3 - L_0$, $\Delta L_3' = L_3' - L_0'$ и номера колонн, напротив которых расположены наблюдаемые точки:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= L_1 - L_0 + \frac{1}{3} \Delta L_3, & \Delta_1' &= L_1' - L_0' - \frac{1}{3} \Delta L_3', \\ \Delta_2 &= L_2 - L_0 - \frac{2}{3} \Delta L_3, & \Delta_2' &= L_2' - L_0' - \frac{2}{3} \Delta L_3'. \end{aligned} \quad (115)$$

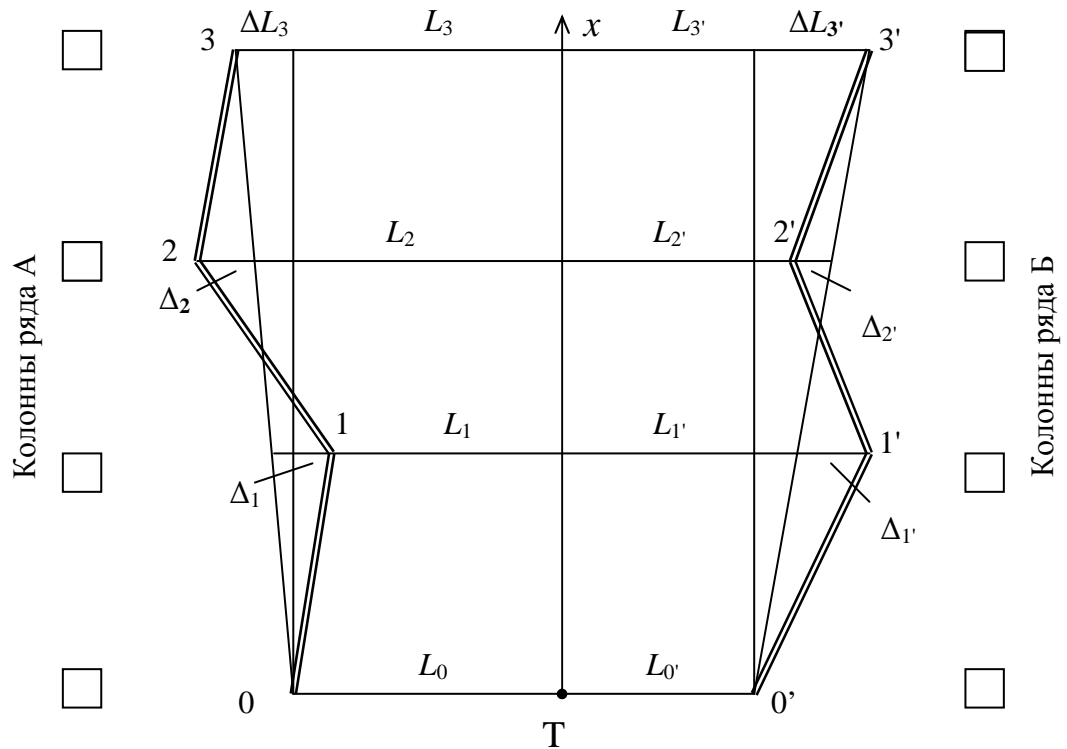


Рис. 122. Схема к определению прямолинейности рельсов

По измеренным превышениям h_0 и $h_{0'}$, h_1 и $h_{1'}$, h_2 и $h_{2'}$, h_3 и $h_{3'}$, ..., h_n и $h_{n'}$ могут быть построены профили, характеризующие высотное положение подкрановых рельсов в продольном и поперечном направлениях.

Длину контролируемого кранового пути можно увеличить вдвое, если электронный тахеометр устанавливать не в начале (или конце) пути, а посередине. Тогда одну часть пути можно наблюдать по схеме на рис. 120, а переводя зрительную трубу тахеометра через зенит, можно наблюдать другую часть пути.

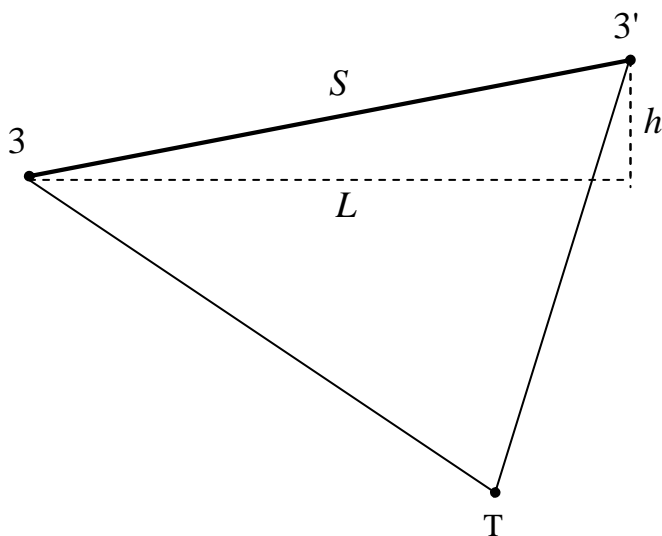


Рис. 123. Схема определения недоступного расстояния с помощью клавиши ОНР электронного тахеометра

Рассмотренный линейно-угловой способ контроля пространственного положения путей мостового крана с помощью электронного тахеометра и его клавиши SDh предусматривает измерение с одной точки стояния прибора только горизонтального положения, превышения и горизонтального угла. Этого достаточно, чтобы совместить три отдельных операции: определение ширины колеи подкранового пути, определение не-

прямолинейности рельсов и их нивелирование.

При работе с тахеометром в безотражательном режиме может использоваться марка-экран, закреплённая на удлинительной штанге с круглым уровнем и вилкой на конце для центрирования марки на оси рельса.

Следует сказать, что ширина колеи подкранового пути является наиболее ответственным параметром, подлежащим контролю. С этих позиций проведённые исследования точности её определения новым методом позволяют рассчитать оптимальную методику съёмки кранового пути.

Упомянутый в предыдущих главах электронный тахеометр *SET530R/R3* имеет клавишу ОНР («определение недоступного расстояния»), с помощью которой можно определить ширину колеи кранового пути, например, между точками 3-3' (рис. 120) следующим образом.

Визируют на точку 3 и нажимают клавишу [РАССТ] на первой странице режима измерений. На экран выводятся результаты измерений. Для остановки измерений нажимают клавишу [СТОП].

Визируют на точку 3' и нажимают клавишу [ОНР] на третьей странице режима измерений. На экран выводятся результаты измерений: S – наклонное расстояние, L – горизонтальное проложение и h – превышение между точками 3-3' (рис. 123).

6.2.4. Косвенные измерения способом четырехугольника

Схема этого способа приведена на рис. 124. Его сущность заключается в том, что по произвольным оптическим створам AA' и BB' определяют прямолинейность обоих рельсов методом бокового нивелирования. В начале и конце контролируемого участка измеряют расстояния a и b или ширину колеи L_1 и L_n .

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

$$L_i = a + l_i + l'_i, \quad (116)$$

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:

$$L_i = a + \frac{i-1}{n-1}(b-a) + l_i + l'_i. \quad (117)$$

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

$$L_i = L_1 + \frac{i-1}{n-1}(L_n - L_1) + \Delta l_i + \Delta l'_i, \quad (118)$$

где Δl_i и $\Delta l'_i$ находят по формуле (102) для правого рельса.

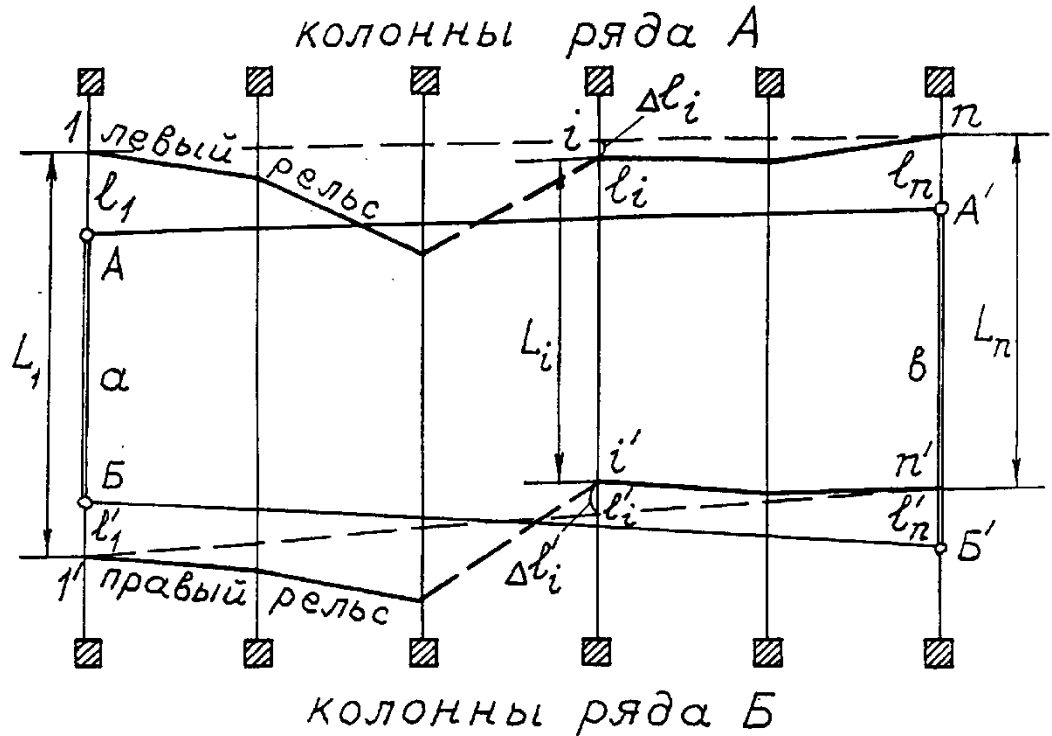


Рис. 124. Схема контроля планового положения подкрановых рельсов по «способу четырехугольника»

6.3. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана

Такие определения обычными способами требуют многократного задействования мостового крана и выхода персонала на подкрановый путь.

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, иллюстрируется на рис. 125. 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 линейных измерений дистанционно на уровне подкрановых рельсов.

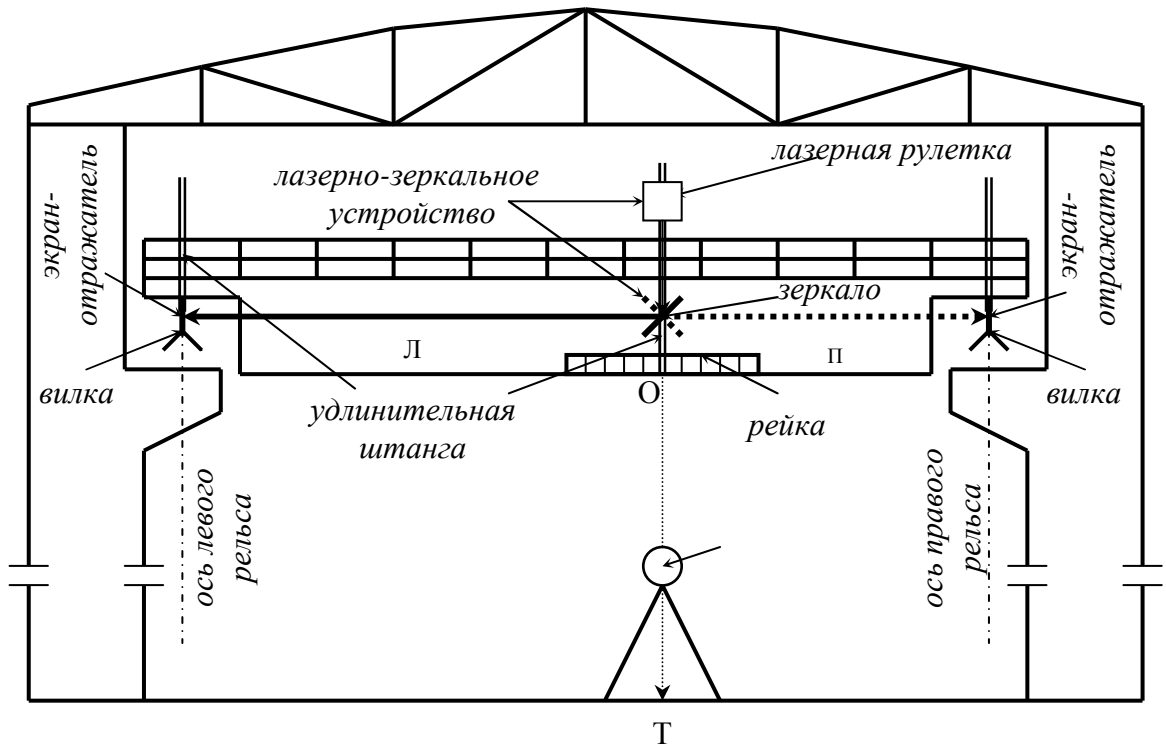


Рис. 125. Схема измерения расстояний лазерно-зеркальным устройством

Процесс измерений заключается в следующем (рис. 125). 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 отсчёта по рейке O .

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

Затем, перемещая кран, располагают рейку последовательно на осях $1, 2, 3, \dots, n-1$ и берут отсчёты a_1, a_2, \dots, a_{n-1} , измеряя одновременно расстояния L_1 и Π_1, L_2 и Π_2, \dots, L_{n-1} и Π_{n-1} до экранов-отражателей, устанавливаемых на оси левого и правого рельсов (рис. 126).

Отсчёты a_i дают возможность определить траекторию движения крана относительно так называемой референтной линии OT . Ширина колеи равна сумме расстояний $(L_i + \Pi_i)$ до левого и правого экранов-отражателей. Расстояния от референтной линии OT до осей левого и правого рельсов характеризуют их отклонения от прямолинейности. Так, для левого рельса эти рас-

стояния равны $L_0, (L_1 - a_1), (L_2 + a_2), \dots, L_n$. Для правого рельса они равны $\Pi_0, (\Pi_1 + a_1), (\Pi_2 - a_2), \dots, \Pi_n$.

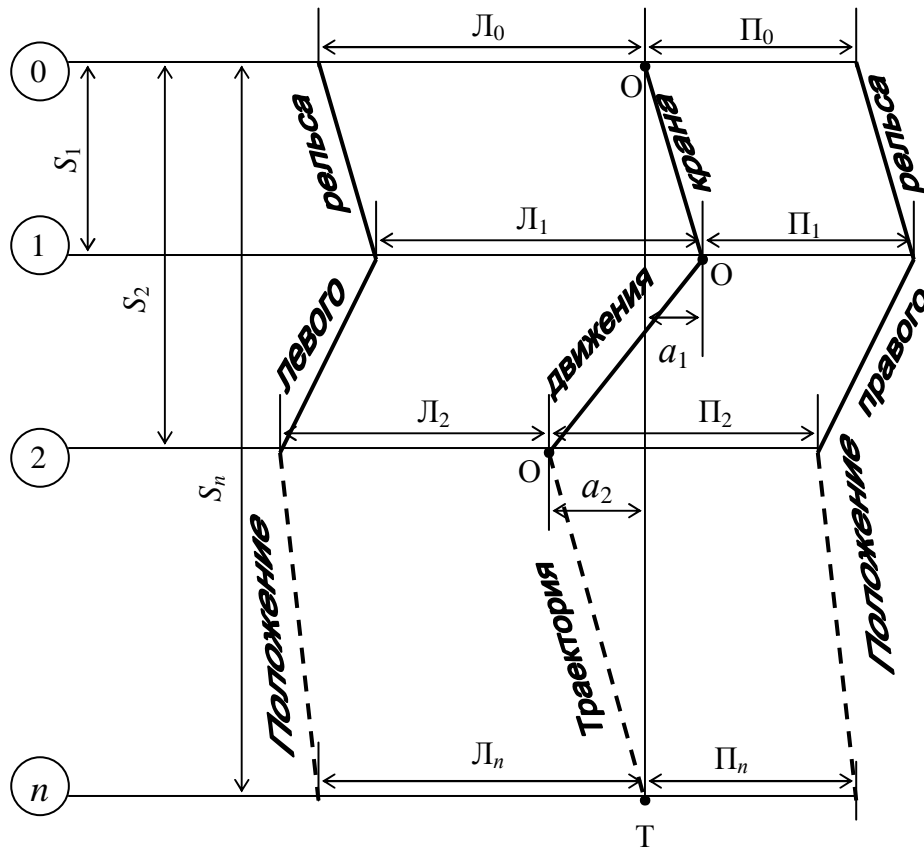


Рис. 126. Схема к определению геометрии кранового пути

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. 127), например, на мосту нерабочего крана, а рабочий кран перемещают в противоположный конец цеха.

Вертикальную нить сетки зрительной трубы теодолита наводят на нулевой отсчёт по рейке O и фиксируют положение зрительной трубы в горизонтальной плоскости. Выполняют описанные выше измерения L_i и Π_i , беря одновременно отсчёты v_1, v_2, \dots, v_n по рейке.

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

$$c_i = v_n S_i / S_n, \quad (119)$$

где S_i – расстояние между начальной и i -й 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 $0, 1, 2, \dots, n$.

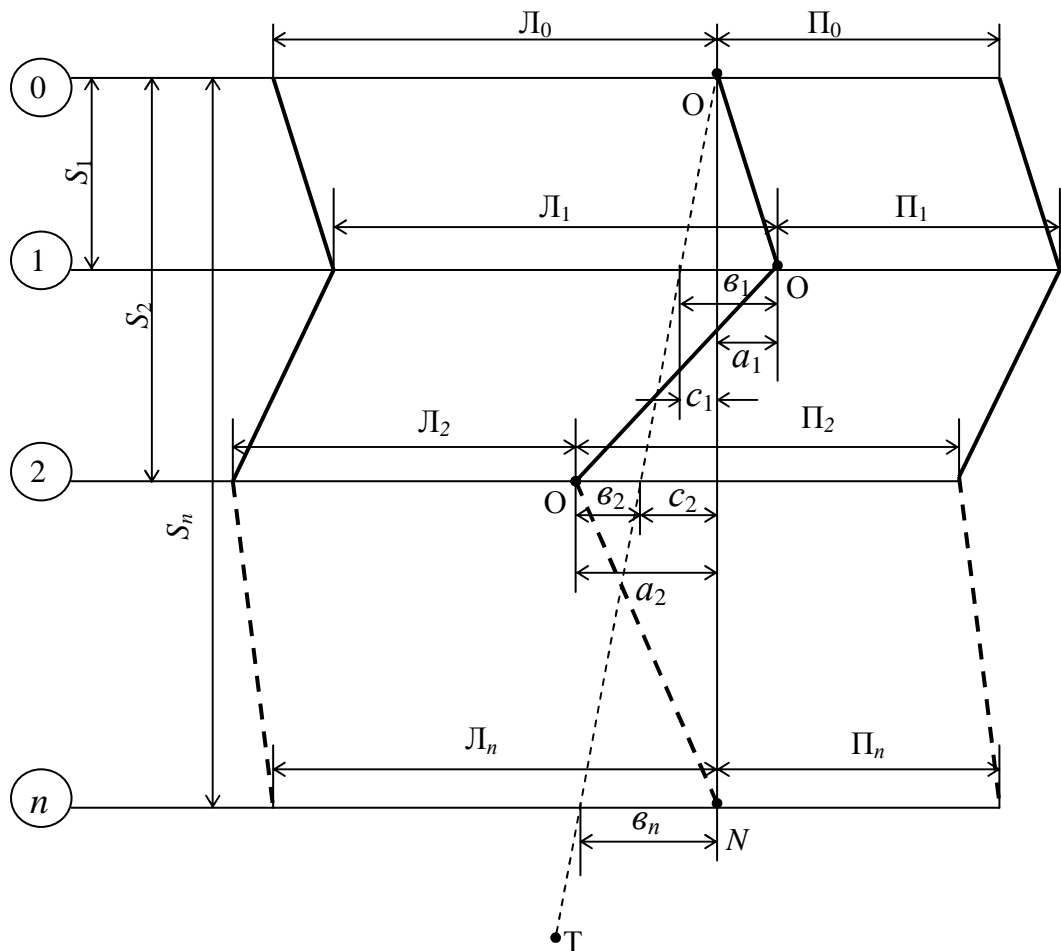


Рис. 127. Схема к определению геометрии кранового пути и траектории

Вычисленные отсчёты $a_1 = \vartheta_1 - c_1$, $a_2 = \vartheta_2 + c_2$, ... и измеренные расстояния L_i и Π_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.

6.4. Нивелирование подкрановых рельсов

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

6.4.1. Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование с использованием точного нивелира типа Н-3 является наиболее распространенным на практике. Из всего много-

образия возможных схем геометрического нивелирования (рис. 128) наиболее употребительны две из них, представленные на рис. 128в и рис. 128г.

Первая схема применяется для труднодоступных путей, когда выход реечников на рельсы исключен. Здесь нивелир устанавливают на одном краене, а реечники перемещают на другом. Точки K и K' используются как связующие при нивелировании участка с нескольких станций.

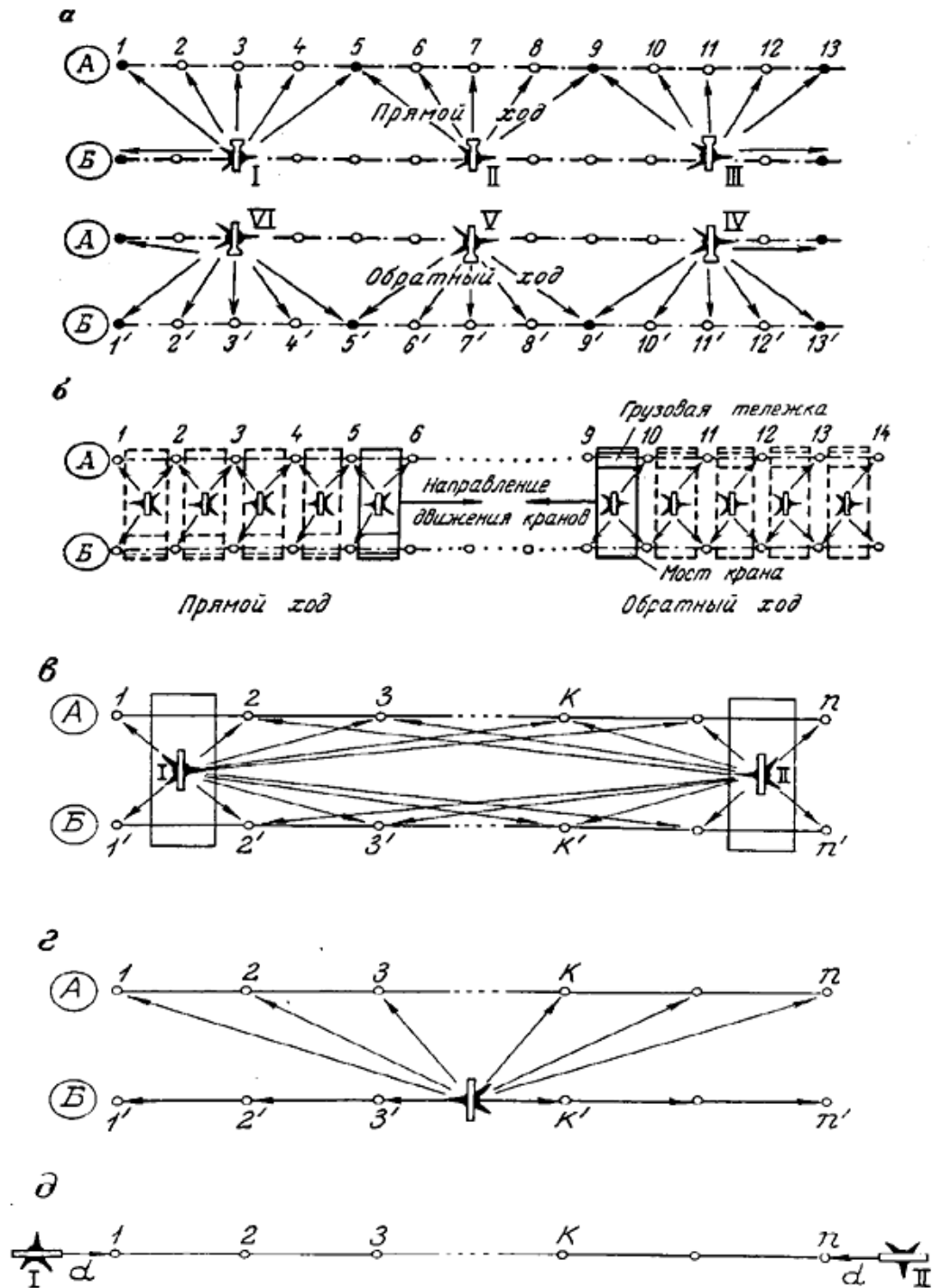


Рис. 128. Схемы геометрического нивелирования подкрановых рельсов

Для доступных подкрановых путей применяют схему на рис. 128г. Здесь нивелир устанавливают на одной из рельсовых нитей и производят веерообразное нивелирование всех точек контролируемого участка с одной станции.

Геометрическое нивелирование с установкой нивелира на полу цеха может осуществляться с помощью рейки, подвешенной к горизонтально установленному на головке рельса бруску (рис. 129).

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.

6.4.2. Нивелирование с использованием лазерной рулетки

Оно может выполняться по нескольким схемам. Эти схемы предусматривают измерение вертикального расстояния между головкой рельса и точкой *С*, расположенной на полу цеха или на поверхности технологического оборудования (рис. 130). Последующее нивелирование таких точек с привязкой к реперу позволит определить отметки головок рельсов.

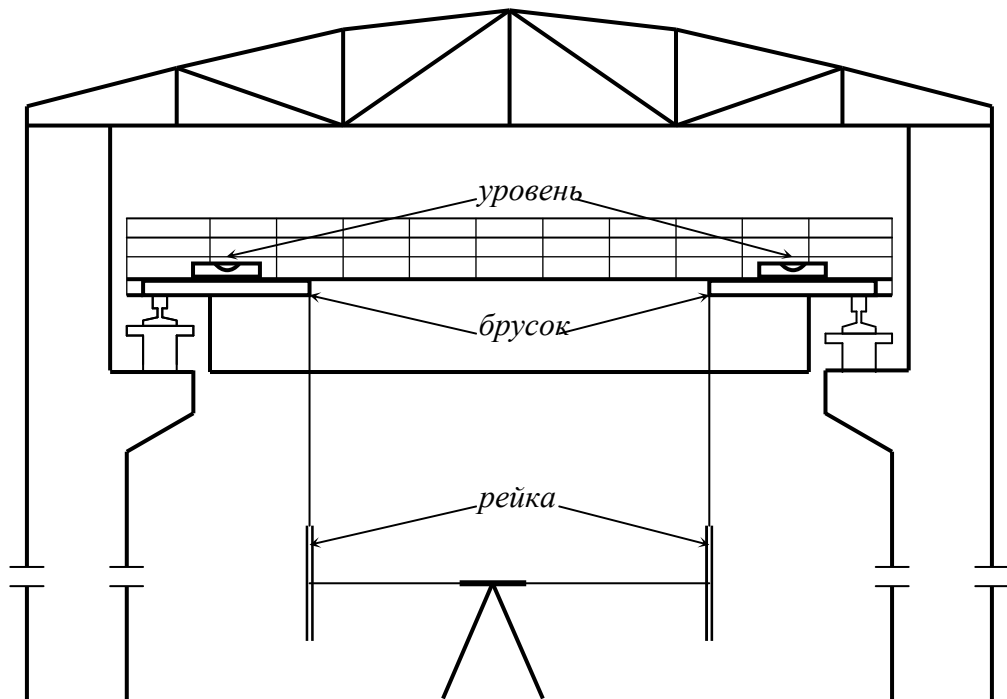


Рис. 129. Схема нивелирования подкрановых рельсов с пола цеха

Так, схемы на рис. 130а, б предусматривают закрепление лазерной рулетки на одном конце бруска с уровнем. Установив брусок в горизонтальное положение, измеряют вертикальное расстояние h до точки С.

В первом случае (рис. 130а) необходим выход работника на крановый путь.

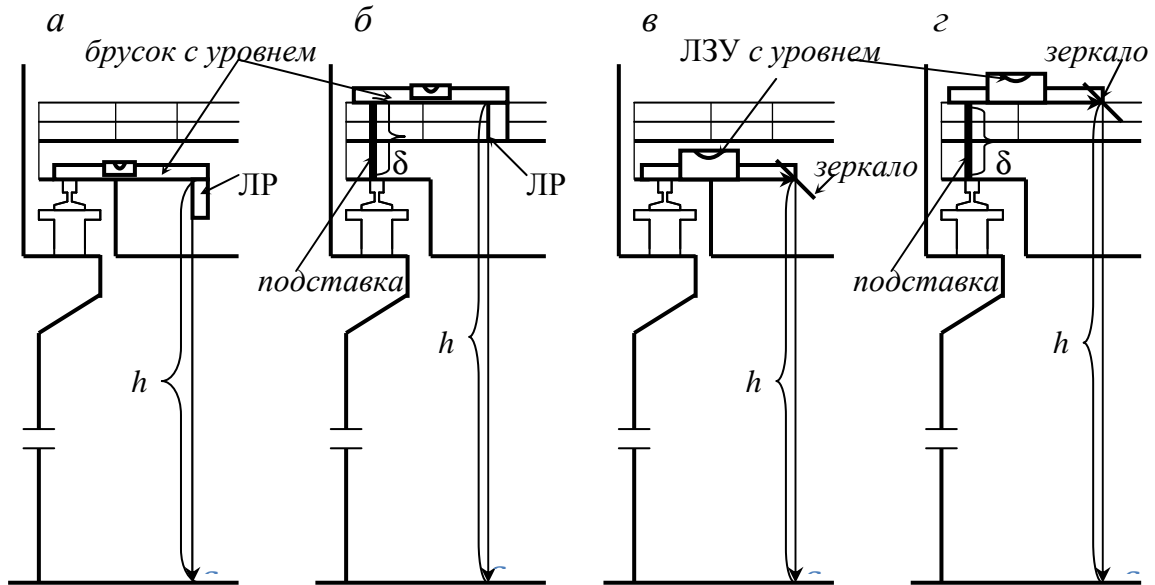


Рис. 130. Схемы нивелирования с помощью лазерной рулетки ЛР (а, б)

Во втором случае (рис. 130б) 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.

Если условия съёмки требуют значительной длины бруска, то можно воспользоваться лазерно-зеркальным устройством.

Здесь (рис. 130в, 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. 130в), так и непосредственно с моста крана (рис. 130г).

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 .

6.4.3. Тригонометрическое нивелирование

В настоящее время такое нивелирование удобнее всего производить с помощью электронного тахеометра с использованием его клавиши SDh или

определения прямоугольных координат точек крановых рельсов. Об этом довольно подробно изложено в предыдущих разделах монографии. Основным достоинством применения электронного тахеометра является возможность одновременного производства как планового, так и высотного контроля положения кранового пути.

6.4.4. Гидростатическое нивелирование

Оно, имея такие достоинства, как независимость от вибраций и колебаний строительных конструкций, конвекции воздушной среды, возможность одновременного нивелирования нескольких точек, не получило широкого распространения на практике ввиду громоздкости аппаратуры и сложности её настройки.

6.4.5. Обработка результатов нивелирования

Обработка заключается в определении условных отметок головок рельсов. Для этого точке с минимальным отсчётом по рейке присваивается условная отметка 0 мм. Условные отметки других точек получают как разность минимального отсчёта и отсчётов 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. 131).

6.5. 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.

6.5.1. Передача отметок с использованием обычной рулетки

Для этих целей используется подвешенная рулетка (рис. 132а), по которой необходимо с помощью нивелира взять отсчёты c и d и отсчёты 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:

$$H_P = H_{R_P} + a + cd + b, \quad (120)$$

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

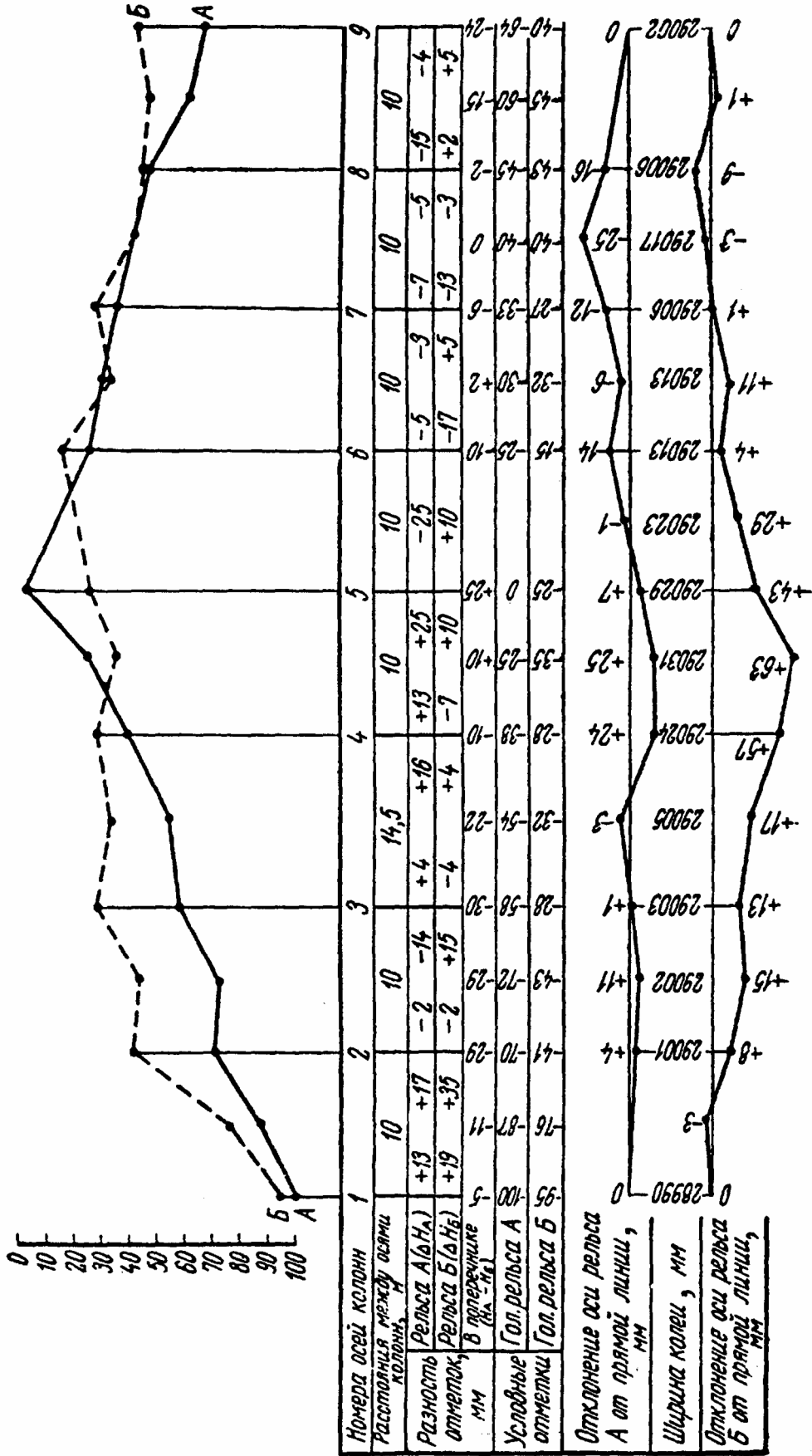


Рис. 131. График плано-высотного положения подкрановых путей

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 отсчётов вследствие её кручения и в необходимости выполнения работ на нижнем и верхнем горизонтах передачи. Применение лазерной рулетки позволяет значительно упростить и ускорить измерительный процесс.

6.5.2. Передача отметок с использованием лазерной рулетки

Работы по схеме на рис. 132б заключается в том, что в точке C устанавливают нивелир с адаптером, на котором на известном расстоянии δ от визирной оси нивелира закреплена лазерная рулетка. Взяв отсчёт a по рейке и измерив с помощью лазерной рулетки вертикальное расстояние h , вычисляют отметку точки P по формуле

$$H_P = H_{R_p} + a + \delta + h. \quad (121)$$

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 «вперёд» менее точен по сравнению с обычно используемым методом нивелирования «из середины».

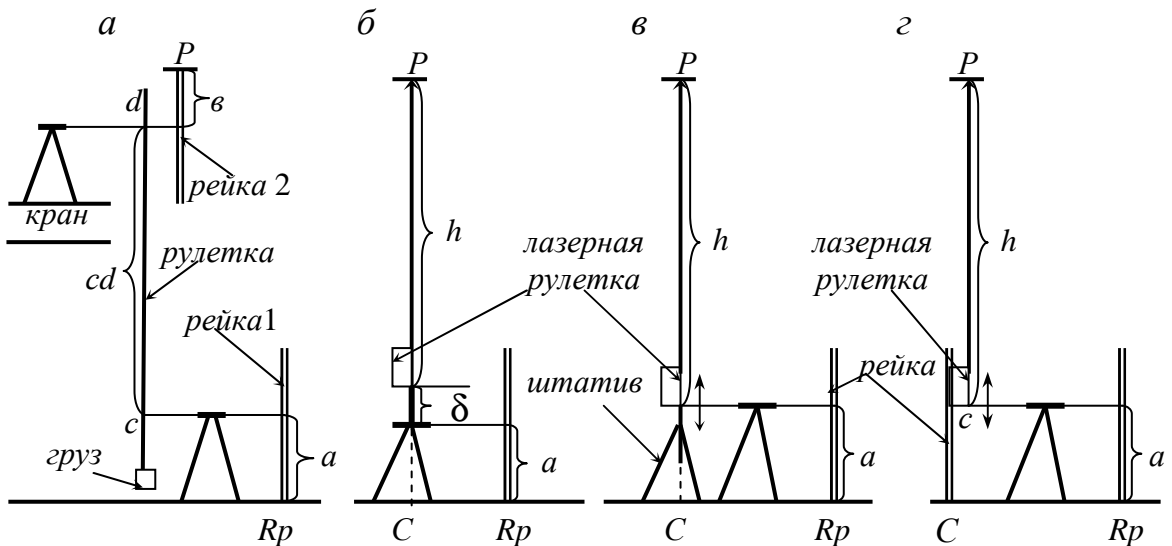


Рис. 132. Схемы передачи отметки: а – обычным способом; б, в, г – с помощью лазерной рулетки

Для устранения этих недостатков можно вместо нивелира с адаптером использовать штатив с выдвижной головкой или обычную рейку. В первом случае (рис. 132в) в точке C устанавливают штатив, на выдвижной головке которого закреплена лазерная рулетка. Взяв отсчёт a по рейке на репере, визируют на лазерную рулетку и, перемещая головку штатива вверх-вниз, устанавливают лазерную рулетку на уровне визирного луча нивелира. Измеряют с помощью лазерной рулетки вертикальное расстояние h и вычисляют отметку точки P по формуле

$$H_P = H_{Rp} + a + h. \quad (122)$$

Другой предлагаемый способ (рис. 132г) заключается в том, что в точке C устанавливают рейку. Взяв отсчёт a по рейке на репере и отсчёт c по рейке на точке C , прикладывают лазерную рулетку к отсчёту c , измеряют вертикальное расстояние h и вычисляют отметку точки P по формуле (122).

Во всех перечисленных выше способах вертикальность лазерного луча контролируют по круглому уровню на нивелире, выдвижной головке штатива или на рейке.

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

Так, в одном из корпусов ОАО НАЗ „Сокол” авторами монографии была опробована методика такой передачи отметки от репера R_p на головку рельса Γ кранового пути (рис. 133).

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 $PP' = S_{\text{изм}}$.

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 :

$$H_{\Gamma} = H_{Rp} + a + (S_{\text{изм}} - b) + c - d, \quad (123)$$

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

Также был опробован другой способ передачи отметки по схеме на рис. 132г. Вначале по рейкам брали отсчёты a и b (рис. 133). Затем к рейке, установленной по круглому уровню в точке P' , прикладывали к отсчёту b в точке O лазерную рулетку и измеряли расстояние до экрана в точке P , равное в формуле (123) выражению в скобках $(S_{\text{изм}} - b)$.

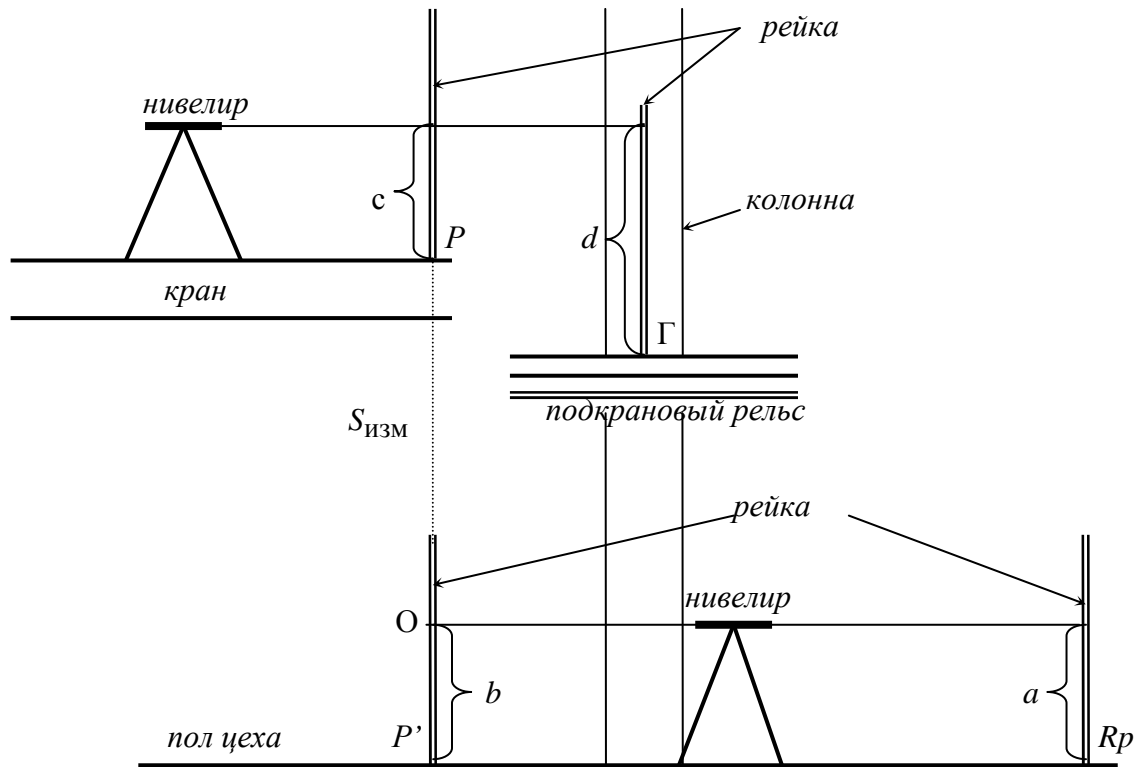


Рис. 133. Схема передачи отметки с помощью нивелира и лазерной рулетки

Оба способа дали практически одинаковые результаты, сопоставимые по точности с обычным способом передачи отметки с помощью нивелира и подвешенной рулетки (рис. 132а). Кроме того, отметим, что схемы (рис. 132б, в, г) в некотором видоизмененном виде могут применяться и для передачи отметок сверху вниз (см. рис. 130).

6.5.3. Дополнительные измерения

Они 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 рулетки или 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 учётом существующих допусков при их эксплуатации. Так, разность отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении 40 мм, на соседних колоннах 20 мм; сужение или уширение колеи рельсового пути 15 мм; от-

клонение 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°С и длине рельса 12,5 мм не более 6 мм, при 20°С не более 3 мм.

Дополнительные сведения об этих и других встречающихся на практике способах геодезической съёмки подкрановых путей, ходовой части мостовых кранов, недоступных путей, подкрановых балок, о некоторых аспектах автоматизации съёмки и оптимизации положения подкрановых рельсов можно получить из монографии [8].

6.6. Основные требования правил техники безопасности

Геодезический контроль эксплуатируемых надземных подкрановых путей производится в условиях, отличающихся повышенной степенью опасности. Работы приходится выполнять как на уровне пола цеха, так и на значительной высоте вблизи от токопроводящих частей кранового и другого оборудования. Эти обстоятельства обуславливают высокие требования к технике безопасности при проведении геодезических измерений. Прежде всего необходимо строго соблюдать правила электробезопасности, в частности, запрещающие работу на подкрановых путях при включённых троллеях. Одновременно подлежат строгому соблюдению правила, обеспечивающие безопасное ведение работ, относящихся к верхолазным.

Следует помнить, что на уровне подкрановых путей, нижнего пояса ферм покрытия зданий, оголовков колонн может быть большая температура и загазованность. Поэтому к работе должны допускаться абсолютно здоровые люди, не страдающие к тому же акрофобией (высотобоязнью).

Все работы, выполняемые на кранах и подкрановых путях, производятся только при наличии наряда-допуска, который даёт право на производство работ с указанием их начала и окончания. Ответственность за все мероприятия, обеспечивающие безопасные условия работы, возлагаются на руководство цеха. Весь персонал геодезической бригады должен быть проинструктирован и обеспечен предохранительными приспособлениями.

Основным средством, предохраняющим от падения с высоты, является предохранительный пояс. Для защиты головы необходимо пользоваться предохранительными касками. На рабочем месте персонал должен прикрепляться поясом к надёжным конструкциям, а при перемещении по путям – к стальной 5-миллиметровой проволоке, натянутой между колоннами. При переносе инструмента, приборов, приспособлений и во время пользования ими необходимо принимать меры, исключающие падение их вниз.

Перед началом работы краны и троллеи данного участка цеха должны быть обесточены, а ключ-бирка на право управления краном передана руководителю работ.

В исключительных случаях краны могут быть использованы для перемещения персонала с соблюдением дополнительных мер безопасности.

Включение рубильника, питающего троллеи, осуществляется лишь после того, как персонал, занятый измерениями, займёт место в кабине крановщика. После перемещения крана в заданное место съёмки, рубильник включается и даётся разрешение на выход на подкрановый путь. При этом необходимо строго следовать установленным звуковым или световым сигналам, показывающим, что токопроводящие части кранового оборудования находятся под напряжением или нет.

Руководителем геодезической бригады (старшим экспертом) назначается высококвалифицированный специалист, прошедший аттестацию в комиссии соответствующего управления Госгортехнадзора России. Кроме всего прочего, он и члены бригады должны уметь оказывать первую доврачебную помощь при поражении электрическим током, при обмороке, ожогах и ранениях.

Глава 7. 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, отсчётного микроскопа; дистанционно-оптическим и фотографическим способами.

7.1. Простейшие измерения

Простейшие измерения предусматривают периодическую фиксацию

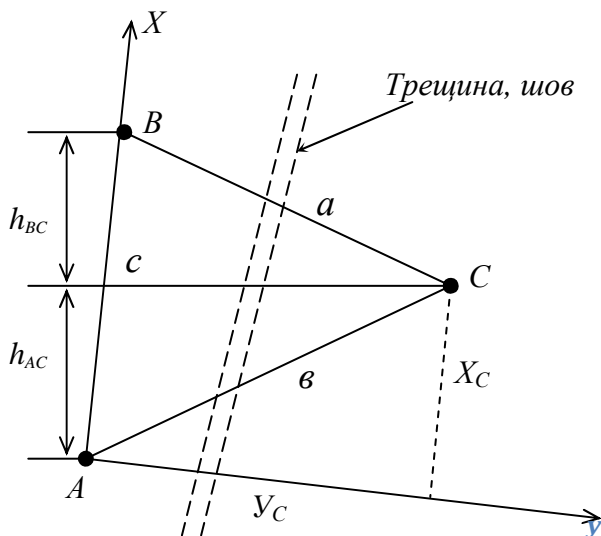


Рис. 134. Схема наблюдения за швами и трещинами на вертикальных или горизонтальных поверхностях сооружений

длины трещины при помощи штрихов, наносимых на конструкцию и измерение ширины трещины миллиметровой линейкой, по поперечному масштабу, штангенциркулем и др. 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. 134. По обе стороны шва или трещины закрепляют три наблюдательных марки A , B и C и измеряют между ними рас-

стояния a , b и c , а также превышения h_{AC} и h_B .

Вычисляют исходные условные координаты и отметку марки C по формулам:

$$X_C = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c}, \quad Y_C = \sqrt{b^2 - X_C^2}, \quad H_C = H_A + h_{AC} = H_A + h_{AB} - h_{BC}. \quad (124)$$

В последующих циклах измеряют расстояния a , b и c , превышения h_{AC} и h_{BC} и вычисляют условные координаты и отметку марки C по формулам (124). Изменения координат и отметки точки C между циклами наблюдений характеризуют величину и направление подвижки наблюдаемых элементов сооружения.

7.2. Применение маяков

7.2.1. Маяки из быстро затвердевающих масс

Такие маяки изготавливают из цемента с примесью песка (для наружных конструкций), алебастра или гипса (для внутренних конструкций). Средние размеры маяков 150x80x10 мм. На рис. 135а показан один из таких маяков.

На каждую трещину рекомендуется устанавливать два маяка: один в наиболее широком месте, другой у её 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.

7.2.2. Пластинчатый раздвижной маяк

Он предназначен для получения количественной характеристики поведения трещины. Он состоит (рис. 135б) 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 измеря-

ют с помощью циркуля и масштабной линейки по двум направлениям: вдоль и поперёк трещины. Точность способа 0,1 мм.

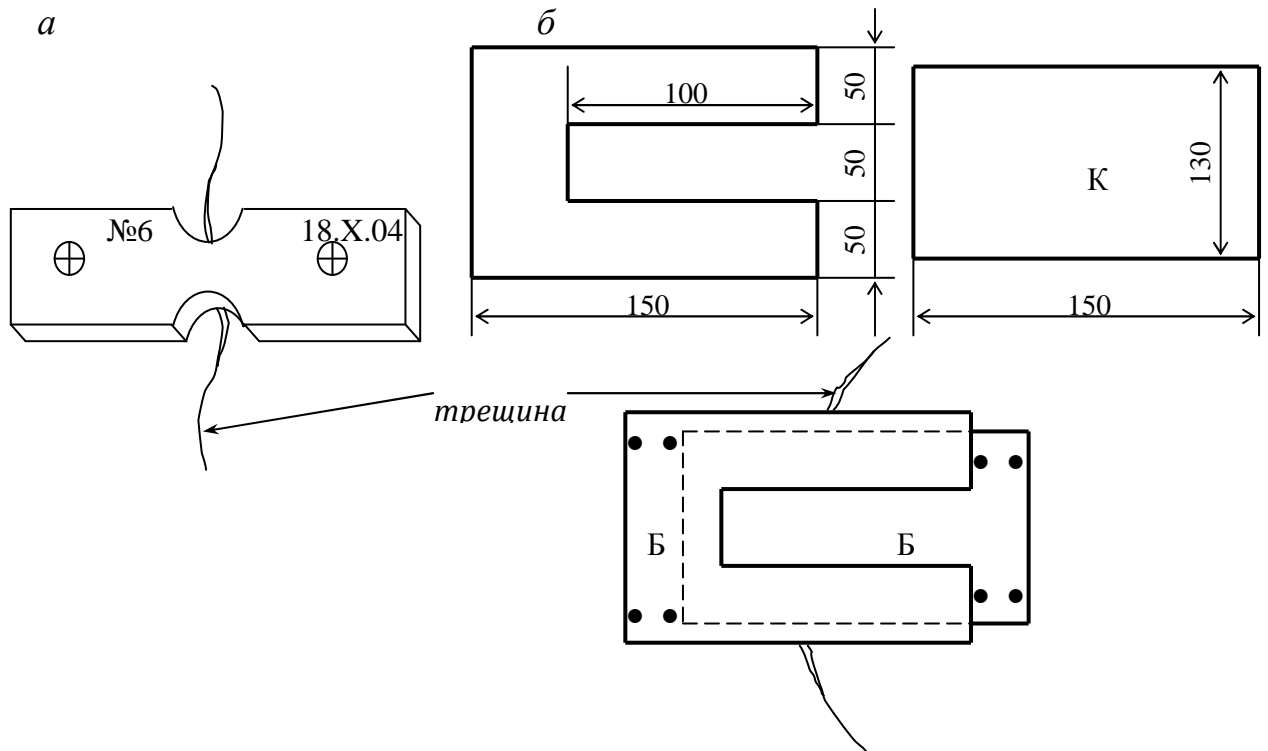


Рис. 135. Маяки: гипсовый (а) и пластинчатый раздвижной (б)

7.2.3. Маяки с металлическими закладными частями

Они предназначены для определения взаимных смещений сторон трещины в трёх направлениях. Примером может служить маяк игольчатый (рис. 136).

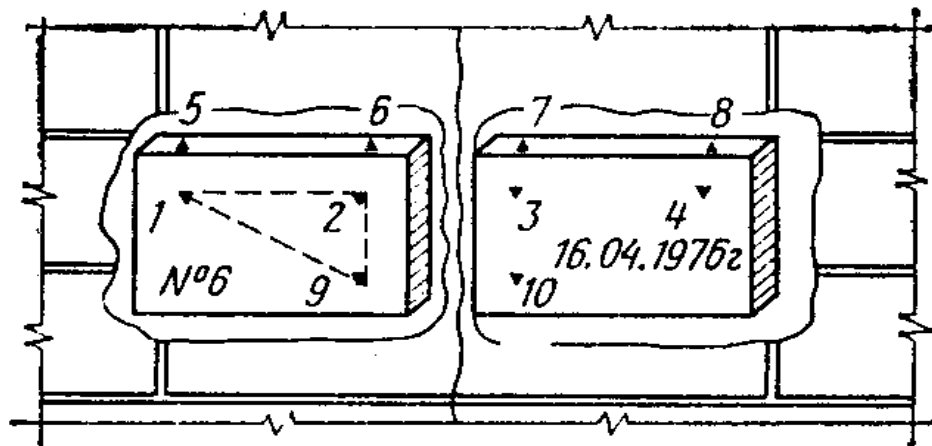


Рис. 136. Маяк игольчатый конструкции Ф.А.Белякова

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.

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 её раскрытия (рис. 137).



Рис. 137. График хода раскрытия трещины

7.3. Применение деформометров, щелемеров, отсчётного 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.

7.4. Применение дистанционно-оптического способа

Если доступ к наблюдаемой конструкции затруднён, 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.

7.5. Применение фотографического способа

Наличие цифровых фотоаппаратов, совместимых с персональным компьютером, и программ редактирования фотографических изображений позволяет рекомендовать несколько вариантов фотографического способа наблюдений за температурными швами и трещинами.

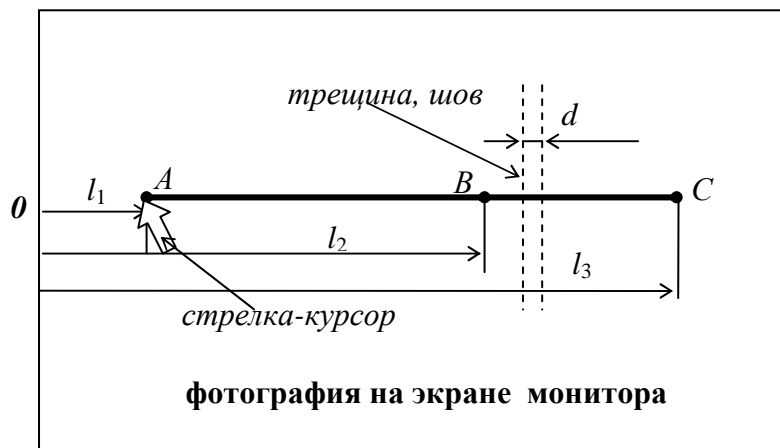


Рис. 138. Схема использования горизонтальной базы AB

Все варианты основаны на фотографировании объекта наблюдений, выводе его изображения на экран монитора, выполнении линейных измерений в некоторых условных единицах с последующим переводом результатов измерений в метрическую систему единиц (миллиметры).

Один из способов, названный способом горизонтальной базы, поясняется рис. 138 и заключается в следующем. По обе стороны температурно-осадочного шва или трещины закрепляют на одной горизонтальной линии три наблюдательных марки A , B и C , где отрезок AB известной длины играет роль вспомогательной базы-эталона, а отрезок BC – рабочая база, величину которой необходимо определять в каждом цикле наблюдений.

Для этого в каждом цикле фотографируют наблюдательные марки, выводят фотографию на экран монитора и, подводя последовательно стрелку-курсор к точкам A , B и C , сразу читают на экране монитора значения расстояний l_1 , l_2 , l_3 в некоторых условных единицах. По результатам измерений вычисляют длину рабочей базы по формуле

$$BC = AB(l_3 - l_2):(l_2 - l_1), \quad (125)$$

где BC – длина рабочей базы, мм; AB – длина базы-эталона, мм; $(l_3 - l_2)$ – длина базы BC в условных единицах; $(l_2 - l_1)$ – длина базы AB в условных единицах.

Сравнивая между собой длины рабочей базы в разных циклах наблюдений судят об изменениях ширины d шва или трещины за период времени между этими циклами.

Отметим, что измерения расстояний l_1 , l_2 , l_3 можно выполнять при различных увеличениях снимка (от 25% и менее до 200% и более). При этом размер снимка не влияет на величину измеряемых расстояний l_i и значения вычисляемой по формуле (125) длины рабочей базы. Исследования показали, что фотографирование точек A , B и C не обязательно выполнять со строго определенной точки, а в обработке могут участвовать снимки любого удобного размера.

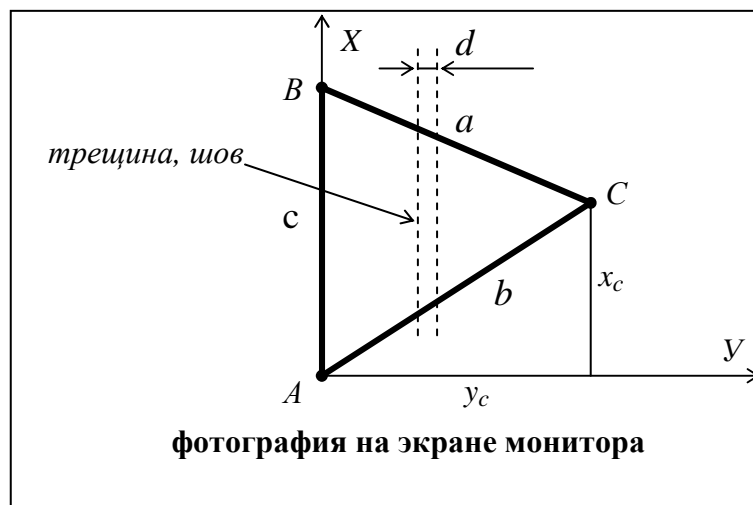


Рис. 139. Схема использования вертикальной базы AB

Другой способ, названный способом вертикальной базы, поясняется рис. 139. Его сущность заключается в том, что по обе стороны шва или трещины закрепляют три наблюдательных марки A , B и C . При этом отрезок AB располагают вертикально, а точку C закрепляют так, чтобы треугольник ABC был равносторонним или близким к нему, хотя это условие и не имеет решающего значения.

Измеряют в мм стороны треугольника a , b , c и вычисляют в принятой прямоугольной условной системе XAY исходные координаты точки C по формулам:

$$x_C = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2c}, \quad y_C = \sqrt{b^2 - x_C^2}. \quad (126)$$

Затем в каждом цикле фотографируют наблюдательные марки A , B и C , выводят фотографию на экран монитора и измеряют расстояния a , b , c в некоторых условных единицах. Снимок масштабируют по эталону AB , переводя результаты измерений в метрическую систему единиц (миллиметры) и вычисляют по формулам (126) координаты точки C . Сравнивая эти координаты с первоначальным их значением судят о горизонтальных и вертикальных смещениях марки C и об изменениях ширины d шва или трещины за период времени между этими циклами.

Одним из достоинств представленной на рис. 139 схемы измерений является то, что даже при отклонении на снимке оси X от вертикали в любом цикле наблюдений будут получены координаты марки C в той же прямоугольной системе XAY , что и в первоначальном цикле, то есть всегда будем получать во всех циклах соизмеримые между собой величины. Во-вторых, фотографирование в каждом цикле наблюдений можно производить примерно с одного и того же места, а не со строго фиксированной точки.

В общем виде точность способа вертикальной базы зависит от формы треугольника ABC и точности измерения сторон этого треугольника a , b , c , оптимальной формой которого является треугольник равносторонний.

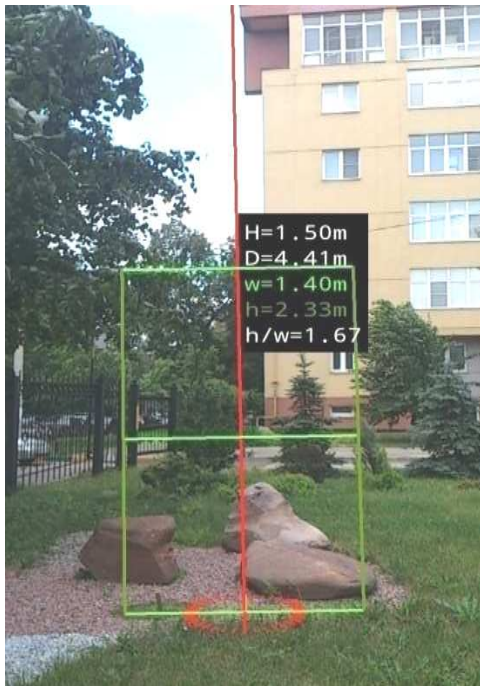
Следует сказать, что приведенными примерами не исчерпываются возможности фотографического способа наблюдений за трещинами. Так, например, программы ArchiCAD и др. позволяют формировать на снимке любую систему прямоугольных координат, определять в этой системе координаты любой точки, измерять наклонные длины сторон и углы их наклона и др. Всё это может служить основой для разработки других фотографических способов наблюдений за трещинами.

Наконец, условные координаты точек A, B, C могут быть периодически определены с помощью электронного тахеометра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следует сказать, что приведёнными 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. Учёт динамических деформаций, которые проявляются в виде колебаний или периодических движений, ставят определенные проблемы перед геодезическим приборостроением. Так, 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 возм

К значительным разработкам

Рис. 140. Фото с программой Plumb-bob

тей. ционно 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.

К таким средствам можно отнести, например, программу Plumb-bob. В процессе фотографирования сооружения на цифровой фотоаппарат, смартфон, планшет, ноутбук и др., снабжённые этой программой, на снимке всегда есть изображение вертикальной линии (рис. 140). Эту линию можно использовать в качестве вертикальной референтной прямой, от которой производить различные измерения.

Особого внимания заслуживает наземное лазерное сканирование. Наземный лазерный сканер (НЛС) – это съёмочная система, измеряющая с высокой скоростью расстояния от прибора до точек объекта и регистрирующая соответствующие горизонтальные и вертикальные углы с последующим формированием трёхмерного изображения (скана) в виде облака точек.

Другой формой представления результатов НЛС является массив точек лазерных отражений от объекта, находящегося в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (x, y, z) , интенсивностью и реальным цветом.

В настоящее время разработкой приборов для трёхмерного лазерного сканирования занимаются такие фирмы, как Leica Geosystems (Швейцария), Trimble (США), Zoller+Frohlich (Германия), Faro Technologies (США), Riegl (Австрия) и др.

Примеры программного обеспечения: Leica Cyclone, Real Works Survey, LFM Software, Riegl Riscan PRO, Technodigit 3D Reshaper.

Преимуществами наземного лазерного сканирования являются: высокая степень автоматизации; возможность определения пространственных координат точек объекта в полевых условиях; трёхмерная визуализация в режиме реального времени; высокая точность измерений; обеспечение безопасности исполнителя при съёмке труднодоступных и опасных районов; высокая производительность НЛС, обеспечивающая экономическую выгоду по сравнению с другими способами; возможность выполнения работ при любых условиях освещения; высокая степень детализации; многоцелевое использование результатов лазерного сканирования.

Особый интерес представляет использование наземного лазерного сканирования при экспертизе промышленной безопасности строительных конструкций зданий и сооружений производственных объектов.

Так, например, определение осадков и смещений инженерных сооружений всегда являлось и является одной из важных задач инженерно-строительного дела. Применение для этих целей НЛС поможет сократить не только затраты труда, но и получить бесконтактным способом информацию о большом числе точек сооружения в один физический момент, что имеет значение при определении динамических деформаций.

Крен – наиболее характерный показатель общей деформации сооружений башенного типа. НЛС позволяет реализовать разработанный на кафедре инженерной геодезии ННГАСУ так называемый «односторонний способ определения крена» с любой точки, с которой видно всё сооружение.

Исследование пространственного положения строительных конструкций предусматривает различные виды геодезических измерений, которые с успехом могут выполняться с помощью НЛС.

Геодезическая съёмка подкрановых путей мостовых кранов с помощью НЛС позволит определить планово-высотное положение подкрановых рельсов без выхода наблюдателя на подкрановый путь.

Наконец, наблюдения за раскрытием температурно-осадочных швов и трещин на вертикальных или горизонтальных поверхностях сооружений можно также производить с помощью НЛС.

В заключение следует сказать, что в настоящее время широкому внедрению в практику инженерно-геодезического производства наземного лазерного сканирования препятствует большая стоимость НЛС.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МУ 34-70-084-84. Методические указания по наблюдениям за осадками фундаментов, деформациями конструкций зданий и сооружений и режимом грунтовых вод на тепловых и атомных электростанциях. СПО Союзтехэнерго. – М., - 1985. – 73 с.
2. ПБ 03-246-98. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности. Госгортехнадзор России. НТЦ «Промышленная безопасность». –М., 1999. –16 с.
3. 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.
4. 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.
5. РД 10-138-97. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин. –М., –1997. –38 с.
6. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб (утверждено постановлением Госгортехнадзора РФ от 3.12.2001 г. №56). – 15с.
7. Руководство по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. НИИО СП Госстроя СССР. – М., Стройиздат. – 1982.
8. Шеховцов Г.А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов: монография / Г. А. Шеховцов. –Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, –1999, –164 с.
9. Шеховцов Г. А. Методические указания по производству специальных геодезических работ на промышленном предприятии: монография / Г. А. Шеховцов. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, – 2002, – 36 с.
10. Шеховцов Г. А. Способы контроля пространственного положения сооружений башенного типа треугольной формы: монография / Г. А. Шеховцов, В. Н. Мамонов. – Н. Новгород, Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, – 2008. – 52 с.
11. Шеховцов Г.А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т,– 2009,–156 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ И КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ	6
Глава 2. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	8
2.1. Организация наблюдений за осадками способом геометрического нивелирования	9
2.2. Нивелирование	13
2.3. Обработка результатов нивелирования	17
2.3.1. Осадка сооружений	17
2.3.2. Скорость протекания осадки	18
2.3.3. Крен сооружения	18
2.3.4. Прогиб (перегиб) сооружения	18
2.3.5. Модуль деформации	19
2.3.6. Графики осадок марок	20
2.4. Определение крена высоких сооружений по осадкам их фундамента	21
2.4.1. Определение крена здания	21
2.4.2. Определение крена дымовой трубы	21
Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ	25
3.1. Створный метод	25
3.2. Метод триангуляции и трилатерации	26
Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНА ВЫСОКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО ТИПА	27
4.1. Способ вертикального проектирования	28
4.1.1. Способ вертикального проектирования с помощью теодолита	28
4.1.2. Определение крена с помощью приборов вертикального проектирования	33
4.2. Способ горизонтальных углов	41
4.3. Способ малых углов	42
4.4. Способ направлений	45
4.5. Способ координат, определяемых засечками	51
4.5.1. Определение крена дымовой трубы способом засечек	52
4.5.2. Определение крена башни треугольной формы способом засечек	56
4.5.3. Косвенное определение углов засечки	58
4.6. Определение крена дымовой трубы с помощью электронного тахеометра безотражательного типа	59

4.6.1. Двусторонний способ определения крена дымовой трубы.....	60
4.6.2. Односторонний способ определения крена дымовой трубы	60
4.6.3. Способы определения радиуса сооружений круглой формы....	63
4.6.4. Односторонний координатный способ определения крена дымовой трубы.....	66
4.6.5. Односторонний координатный способ определения крена башни четырёхугольной формы.....	68
4.6.6. Односторонний координатный способ определения крена башни треугольной формы.....	72
4.7. Односторонний линейно-угловой способ	75
4.7.1. Определение крена дымовой трубы.....	76
4.7.2. Определение крена здания.....	79
4.8. Фотографический способ	80
4.8.1. Способы формирования и использования референтных прямых.....	80
Глава 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	86
5.1. Лазерно-зеркальное устройство для дистанционных измерений	87
5.2. Определение расстояния между фермами в середине пролета	90
5.3. Определение расстояний между колоннами в пролёте и в ряду	91
5.4. Определение смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн	96
5.4.1. Механический способ.....	96
5.4.2. Лазерно-зеркальный способ.....	97
5.4.3. Фотографический способ.....	99
5.4.4. Угломерный способ.....	101
5.5. Определение стрелы прогиба конструкций	103
5.5.1. Способ геометрического нивелирования.....	103
5.5.2. Способ тригонометрического нивелирования.....	105
5.5.3. Лучевой способ.....	106
5.5.4. Фотографический способ.....	108
5.6. Геодезическая выверка колонн по вертикали	108
5.6.1. Тригонометрическое нивелирование.....	109
5.6.2. Вертикальное проектирование с помощью теодолита.....	109
5.6.3. Вертикальное проектирование с помощью теодолита и рулеток.....	111
5.6.4. Вертикальное проектирование с помощью теодолита и ЛЗУ..	112
5.6.5. Реечный, безреечный и комбинированный способы.....	114
5.6.6. Координатный способ.....	118
5.6.7. Использование приборов вертикального проектирования.....	118

5.6.8. Способ бокового нивелирования.....	120
5.6.9. Использование шнурового отвеса и лазерной рулетки.....	122
5.6.10. Косвенные способы определения высоты и крена.....	124
5.7. Контроль соосности колонн зданий и сооружений.....	126
Глава 6. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЁМКА ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ	134
6.1. Определение планового положения подкрановых рельсов .	134
6.1.1. Непосредственный способ.....	135
6.1.2. Способ фотограмметрических створов.....	138
6.2. Определение ширины колеи подкранового пути.....	139
6.2.1. Измерения лазерной рулеткой.....	139
6.2.2. Измерения с помощью ЛЗУ.....	141
6.2.3. Измерения с помощью электронного тахеометра.....	141
6.2.4. Косвенные измерения с помощью четырёхугольника.....	149
6.3. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана	150
6.4. Нивелирование подкрановых рельсов	153
6.4.1. Геометрическое нивелирование.....	153
6.4.2. Нивелирование с использованием лазерной рулетки.....	155
6.4.3. Тригонометрическое нивелирование.....	156
6.4.4. Гидростатическое нивелирование.....	157
6.4.5. Обработка результатов нивелирования.....	157
6.5. Передача отметок по вертикали и дополнительные измерения	157
6.5.1. Передача отметок с использованием обычной рулетки.....	157
6.5.2. Передача отметок с использованием лазерной рулетки.....	159
6.5.3. Дополнительные измерения.....	161
6.6. Основные требования правил техники безопасности.....	162
Глава 7. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТРЕЩИНАМИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	163
7.1. Простейшие измерения	163
7.2. Применение маяков.....	164
7.2.1. Маяки из быстро затвердевающих масс.....	164
7.2.2. Пластинчатый раздвижной маяк.....	164
7.2.3. Маяки с металлическими закладными частями.....	165
7.3. Применение деформометров, щелемеров, отсчётного микроскопа	166
7.4. Применение дистанционно-оптического способа.....	167
7.5. Применение фотографического способа	167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	173

Геннадий Анатольевич Шеховцов
Раиса Павловна Шеховцова

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Монография

Редактор Д. М. Фетюкова

Компьютерная верстка Г. А. Шеховцов

Подписано в печать . Формат 60x90/16.

Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч. изд. л. Усл. печ. л. Тираж 600 экз. Заказ № .

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65

Полиграфцентр ННГАСУ, Н.Новгород, Ильинская, 65