

Г. А. Шеховцов

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХОДОВОЙ ЧАСТИ И ПУТЕЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

*Монография*



Нижний Новгород  
2018

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Г. А. Шеховцов

Современные методы геодезического контроля  
ходовой части и путей мостовых кранов

*Монография*

2-е издание, переработанное и дополненное

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2018

ББК 26.1  
Ш 54  
УДК 528.48

*Печатается в авторской редакции*

Рецензенты:

- Т. И. Хаметов* – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой землеустройства и геодезии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
- В. И. Куштин* – д-р техн. наук, профессор кафедры изысканий, проектирования и строительства железных дорог Ростовского государственного университета путей сообщения

Шеховцов, Г.А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов [Текст]: монография. 2-е изд., переработанное и дополненное / Г.А. Шеховцов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т.– Н.Новгород: ННГАСУ, 2018. – 185 с. ISBN 978-5-528-00284-2

Рассматриваются методы геодезического контроля кранового хозяйства промышленных предприятий в соответствии с требованиями СНиП и «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

Приводятся общие сведения о мостовых кранах опорного и подвесного типов. Изложены требования к геометрическим параметрам ходовой части кранов, их мостов и крановых путей. Обоснована необходимая точность определения этих параметров и показаны условия производства геодезических работ.

Дается описание различных методов геодезических измерений непрямолинейности подкрановых рельсов, ширины колеи и нивелирования доступных и недоступных подкрановых путей. Изложены способы съёмки ходовой части крана и подкрановых балок. Рассмотрены различные аспекты автоматизации геодезической съёмки и оптимизации положения подкрановых путей.

Книга рассчитана на работников геодезического производства и будет полезна как специалистам, выполняющим работы по монтажу, строительству и контролю над эксплуатацией кранового оборудования, так и студентам технических вузов.

Табл. 11, ил. 128, библиограф. назв. 167.

ББК 26.1

ISBN 978-5-528-00284-2

© Шеховцов Г. А., 2018  
© ННГАСУ, 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является вторым изданием ранее опубликованной работы (Шеховцов Г. А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов: монография. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ. – 1999. – 164 с.). Однако с момента её опубликования прошло около 20 лет. За этот период времени широкое распространение получили персональные компьютеры, электронные тахеометры, лазерные безотражательные дальнометры, видеокамеры, цифровые фотокамеры, программы редактирования фотографических изображений и многое другое.

В соответствии с этим книга дополнена сведениями о новых, в том числе и разработанных автором, способах геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов с использованием электронных тахеометров, лазерно-зеркального устройства, цифровых фотокамер, совместимых с ПК, референтных прямых, компьютерных программ и др.

В книге автор стремился изложить на современном уровне теоретические и практические вопросы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов промышленных предприятий. Предлагаемая вниманию читателя монография представляет собой попытку охватить практически весь комплекс современных приёмов и способов такого контроля. В ней использован опыт многих научно-исследовательских, проектных и производственных отечественных и зарубежных организаций, а также многолетний личный опыт самого автора по контролю ходовой части и путей мостовых кранов промышленных предприятий, ТЭЦ и других объектов Нижегородской области.

В монографии сокращено представленное в цитируемой выше работе подробное описание предложенных в своё время различными авторами приборов и устройств, которые серийно не выпускаются, существовали только в виде действующих макетов или, на данный момент развития науки и техники, потеряли своё значение.

Тем не менее, даётся обширный ретроспективный материал с целью: во-первых, облегчить ориентирование читателя в представленном в монографии практически исчерпывающем спектре отечественных и зарубежных публикаций по данной теме; во-вторых, акцентировать внимание на авторстве теоретических и опытно-конструкторских разработок; наконец, в-третьих, использовать исследователями заслуживающие внимание идеи для их реализации на современном уровне развития науки и техники.

## ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъёмные краны на рельсовом ходу являются одним из наиболее распространённых средств механизации погрузочно-разгрузочных операций на промышленных предприятиях, в морских и речных портах, на строительных площадках, железнодорожном транспорте и др. На крупных заводах общая длина подкрановых путей может составлять более сотни километров. По данным [24] объём работ, связанный со съёмкой подкрановых путей мостовых электрических кранов промышленного предприятия с длиной этих путей 30-35 км, настолько значительный, что при существующей методике съёмки требуется специальная съёмочная группа из 5-6 человек с круглогодичной занятостью.

Под постоянным воздействием статических и динамических нагрузок, неравномерной осадки фундаментов, деформаций подкрановых конструкций и влияния других факторов нарушается прямолинейность подкрановых путей, изменяются отметки головок рельсов и расстояние между рельсами. Поэтому, для обеспечения безопасной и нормальной работы крана предусмотрены систематические наблюдения за геометрическими параметрами как его ходовой части, так и подкрановых путей.

По результатам плано-высотной съёмки подкрановых путей производится оценка их состояния и, в случае необходимости, их ремонт (рихтовка).

Геодезический контроль эксплуатируемых надземных подкрановых путей и ходовой части мостовых кранов как производился, так и производится в условиях, отличающихся повышенной степенью опасности. Работы приходится выполнять на значительной высоте вблизи от токопроводящих частей кранового 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.

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, возлагается 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 защитными 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 инструментов, приборов, приспособлений и во время пользования ими необходимо принимать меры, исключающие их падение вниз. Следует помнить, что

на уровне подкрановых путей может быть большая загазованность и температура. Поэтому к работе допускаются только абсолютно здоровые люди, не страдающие акрофобией (высотобоязнью).

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 выключается 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.

Таким образом, во-первых, при организации работ по геодезическому контролю ходовой части и путей мостовых кранов, прежде всего необходимо (при выборе методики съёмки) руководствоваться требованиями обеспечения безопасности геодезических измерений. Во-вторых, эти требования должны учитываться при разработке новых методик, приборов, систем, обеспечивающих высокие технологии таких измерений.

## **Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОСТОВЫХ КРАНАХ, УСЛОВИЯХ И МЕТОДИКЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ИХ ХОДОВОЙ ЧАСТИ И ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ**

### **1.1. Грузоподъёмные краны мостового типа**

Все мостовые краны по способу опирания на крановый путь подразделяются на опорные и подвесные. Их преимущество состоит в том, что они позволяют одним краном обслуживать весь цех, обеспечивая перемещение груза в любом направлении.

Мостовой кран в конструктивном отношении представляет собой мост в сочетании с крановой тележкой или талью. Мост крана может быть однобалочным и двухбалочным. Однобалочный мост (рис. 1, а, б) состоит из главной балки 1, соединённой с двумя концевыми балками. Двухбалочный мост имеет две главные балки, соединённые с двумя концевыми балками. Концевые балки снабжены ходовыми колёсами 2, посредством которых мост перемещается по крановому пути.

Однобалочные мосты (иначе кран-балки) оборудованы талью 3 – грузоподъёмным устройством (лебёдкой), подвешиваемым к главной балке и перемещающимся по ней под действием ручного, электрического или пневматического привода.

Двухбалочные мосты (рис. 1, в) оборудованы крановой тележкой 3 с двумя механизмами подъёма (главным и вспомогательным). Внешний вид

такого крана представлен на рис. 2, а. Мост 1 состоит из двух параллельных балок 5, жестко скрепленных концевыми балками 4. Крановая тележка перемещается вдоль моста по рельсам 2, уложенным на главных балках.

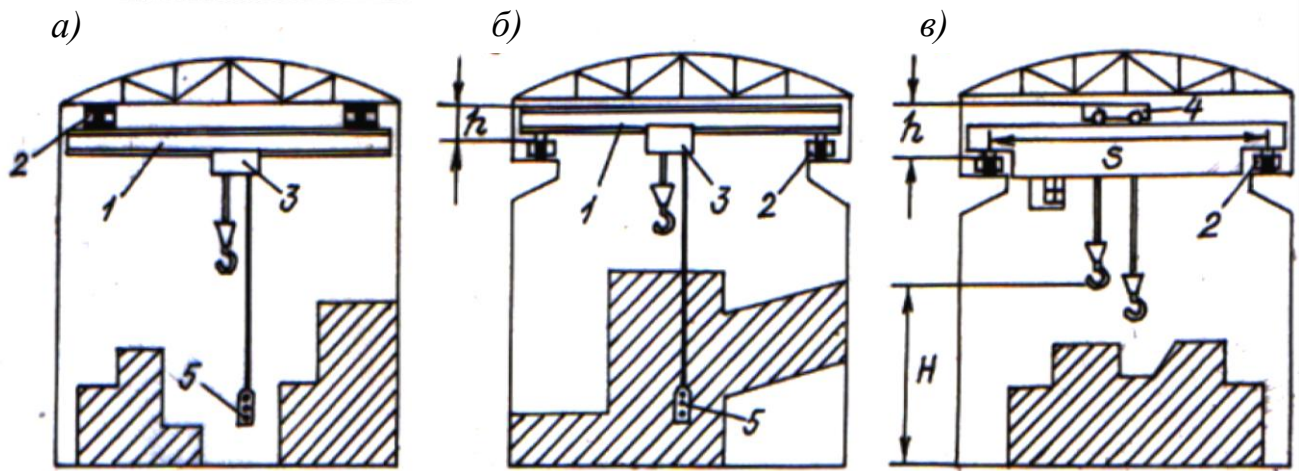


Рис. 1. Мостовые краны: подвесной однобалочный (а), опорный однобалочный (б), опорный двухбалочный (в)

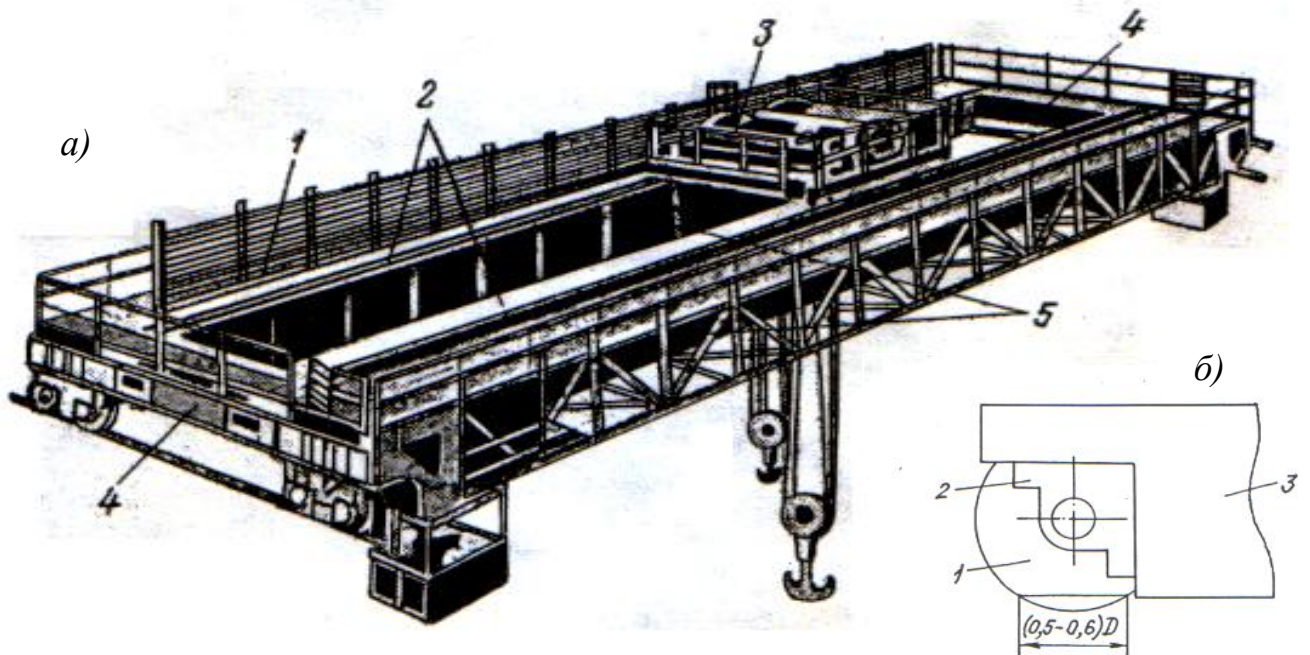


Рис. 2. Мостовой электрический кран (а) и схема крепления ходового колеса (б)

Мостовые краны подвесного типа ходовыми колёсами опираются на нижние полки двутавровых балок, подвешенных к потолочным конструкциям цеха. Мостовые краны опорного типа своими ходовыми колёсами опираются на крановые рельсы, закреплённые на подкрановых балках, установленных на консолях колонн цеха. Для подкрановых путей здесь используются железнодорожные рельсы Р-38, Р-43, Р-50, Р-65 или специальные крановые рельсы КР-70, КР-80, КР-100, КР-120. Реже применяется прокат квадрат-

ного сечения с шириной верхней грани 40-140 мм. Длина отдельных подкрановых путей различна и может достигать 600 м и более.

Ходовые колёса мостовых кранов делятся на ведущие, приводимые в движение электродвигателем (реже с ручным приводом) и холостые. Ведущие колёса устанавливаются на валах, холостые – на вращающихся осях. Ходовые колёса 1 опорных мостовых кранов устанавливаются с помощью угловых отъёмных букс 2, закреплённых на концевых балках крана (рис. 2, б). Колёса бывают безребордные, двухребордные, с цилиндрической или конической дорожкой качения. Каждому диаметру колеса соответствует свой размер буксы.

Одними из основных характеристик мостовых кранов является пролёт – расстояние  $L$  между осями крановых рельсов, и высота подъёма  $H$  – расстояние от уровня пола до грузозахватного органа, находящегося в верхнем положении.

Мостовые краны подвесные однобалочные (рис. 1, а) с ручным приводом грузоподъёмностью 0,5-5,0 т имеют главную балку длиной 3,6-11,4 м, высоту подъёма 3-12 м. Аналогичные мостовые краны с электрическим приводом грузоподъёмностью 0,25-5,0 т могут быть двух-, трёх- и четырёхопорными. Длина двухопорных кранов 3,6-18,0 м, трёхопорных 16,2-27,0 м, четырёхопорных 28,2-34,8 м. Управление кран-балками ведётся из кабины, подвешенной к главной балке, или с пола при помощи кнопочного пульта 5.

Подвесные двухбалочные многоопорные мостовые краны грузоподъёмностью до 20 т имеют пролёты до 96 м, оборудованы двумя тележками с двумя механизмами подъёма.

Опорные однобалочные мостовые краны (рис. 1, б) с ручным приводом грузоподъёмностью 3,2; 5,0; 8,0 т имеют пролёт 4,5-16,5 м. Двухбалочные краны грузоподъёмностью 12,5 и 20 т имеют пролёт 7,7-16,6 м, причём, в качестве ручного привода используются червячные тали.

Опорные мостовые краны однобалочные с электрическим приводом грузоподъёмностью 1-5 т имеют пролёт 4,5-25,5 м и высоту подъёма 3-18 м. Высота  $h$  однобалочных опорных кранов колеблется от 500 до 1400 мм относительно головки рельсов.

Опорные двухбалочные мостовые краны (рис. 1, в) с электрическим приводом грузоподъёмностью 5-50 т имеют пролёт 10,5-34,5 м, высоту подъёма груза 12,5 м, превышение  $h$  над головкой рельсов 1650-3700 мм и более. Такие же краны с грузоподъёмностью механизма главного подъёма 80-500 т и вспомогательного подъёма 20-30 т имеют высоту подъёма соответственно 25-32 м и 27-34 м. Питание механизмов крана электроэнергией производится с помощью токоведущих шин, установленных вдоль стен цеха с противоположной кабине крана стороны.

Надземные подкрановые пути монтируют на стальные или железобетонные подкрановые балки, которые крепят к консолям несущих колонн. Пути бывают опорные и подвесные. На опорные краны устанавливают, а на подвесные – подвешивают. Габаритные размеры подкрановой балки, на которую крепится рельс, зависят от грузоподъёмности крана. Чаще всего используют



ся металлические широкополочные двутавровые балки, ширина полки у которых составляет 200 мм и более, а высота – от 600 мм и выше. Для обеспечения идеальных условий эксплуатации кранов и их подкрановых путей они должны отвечать следующим требованиям [96]:

1. Подкрановые балки должны быть горизонтальны и параллельны.
2. Рельсы должны быть прямолинейны, параллельны, горизонтальны и лежать в одной плоскости.
3. Расстояния между осями рельсов (ширина колеи) должно соответствовать номинальному расстоянию между вертикальными осями колёс крана, то есть величине пролёта.
4. Оси балок и рельсов должны находиться в одной вертикальной плоскости.
5. Диагонали моста крана должны быть равны проектной величине.
6. Ходовые колёса мостовых кранов и грузовых тележек должны быть вертикальными и не отклоняться от линии, проходящей через середины колёс.
7. Ходовые колёса должны иметь одинаковый диаметр.

## **1.2. Требования к геометрическим параметрам подкрановых путей и мостовых кранов**

Для обеспечения нормальных условий эксплуатации кранов и подкрановых конструкций необходимо, чтобы (как было отмечено выше) рельсы подкранового пути были прямолинейны, параллельны между собой, лежали в одной горизонтальной плоскости на расстоянии друг от друга равном ширине колеи крана.

Однако в процессе эксплуатации подъёмно-транспортного оборудования геометрические параметры подкрановых путей в пролёте и по опорам могут меняться. Это происходит вследствие влияния различных факторов, таких как износ рельсов, ослабление крепёжных узлов, неравномерная осадка колонн, неправильная траектория движения крана и целого ряда других. Поэтому грузоподъёмные машины должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию: частичному (не реже одного раза в год) или полному (не реже одного раза в три года, а для редко используемых кранов – не реже одного раза в пять лет). При техническом освидетельствовании должно быть проверено также состояние кранового пути и его соответствие действующим требованиям.

Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов [96, 97] установлены предельные значения допустимых отклонений геометрических параметров подкрановых путей от проектных, не вызывающие существенных нарушений условий работы кранов и мало влияющие на траекторию их движения. Такими допусками являются следующие:

- разность отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении 40 мм, на соседних колоннах 10 мм;
- сужение или уширение колеи рельсового пути 15 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 м не более 6 мм, при 20°С не более 3 мм.

Замеры перечисленных отклонений должны выполняться через интервал не более 5 м. Однако на практике этот интервал принимается равным шагу колонн, как правило, 6 м.

Кроме того, расстояние от верхней точки грузоподъемной машины до потолка здания, нижнего пояса стропильных ферм или предметов, прикрепленных к ним, а также до нижней точки другой грузоподъемной машины, работающей ярусом выше, должно быть не менее 100 мм. Расстояние от выступающих частей торцов крана до колонн и стен здания, перилл проходных галерей должно быть не менее 60 мм.

В настоящее время принято выполнять определение положения подкрановых путей при остановленных кранах, выведенных из зоны съёмки. Однако по мнению ряда отечественных и зарубежных исследователей такие определения не дают сведений о деформациях подкрановых конструкций и самих путей в нагруженном состоянии.

Приведенные в работе [145] результаты исследований показали, что рихтовка путей, основанная на результатах измерений, выполненных без нагрузки, не приводила во многих случаях к улучшению работы кранов, а иногда даже была причиной её ухудшения. Поэтому рекомендуется при рихтовке путей учитывать их отклонения, полученные без нагрузки и под нагрузкой.

Контрольные геодезические измерения должны охватывать не только пути, но и краны. Неправильная работа кранов, являющаяся следствием увеличения потребления энергии и быстрого изнашивания колёс и рельсов, зачастую бывает вызвана деформацией и неправильной сборкой мостов и ходовой части кранов, а не сдвигом путей.

Отклонения от номинальных размеров при сборке мостов кранов не должны превышать 4 мм при пролёте моста дл 19,5 м и 6 мм при пролёте свыше указанного. Разность диагоналей моста допускается не более 5 мм, а отклонение геометрических осей ходовых колёс от общей горизонтальной плоскости – не более 3 мм.

Известно [67], что на долю ходовых колёс, тормозов, двигателей приходится до 95% отказов. Годовая стоимость ремонтов и технического обслуживания мостовых кранов доходит до 25% их преysкурантной цены. Бóльшая часть этой стоимости ложится на замену вышедших из строя вследствие износа ходовых колёс.

Нормальный режим эксплуатации мостового крана во многом зависит от взаимного геометрического положения его ходовых колёс и рельсов подкранового пути. Перекос ходовых колёс – непараллельность их горизонтальных и вертикальных осей, неравенство диаметров – является одной из причин преждевременного износа их реборд и рельсов, вызываемого неправильной траекторией движения мостового крана. На основе вероятностно-статистического анализа результатов планово-высотной съёмки рельсовых подкрановых путей установлено[90], что вероятность сверхнормативного

смещения рельсов в плане, обусловленная неправильной траекторией движения мостового крана, составляет 53%.

Наконец, считается, что перекося колёс относительно их проектного положения не должен превышать 1 мм на 1 м базы замера, а совпадение плоскостей симметрии колёс одной линии должно находиться в пределах 1 мм. Диаметры  $D$  поверхности качения колёс не должны отличаться от их номинального размера на величину  $0,0005D$ .

Для примера отметим, что в состав контролируемых геометрических параметров, определение которых, согласно действующим в Германии строительным нормам и правилам, должны проводиться регулярно, а также перед началом эксплуатации нового кранового изделия и/или при возникновении существенных изменений условий эксплуатации, входят: прямолинейность и параллельность оси рельсов; ширина и высоты концов рельсовых путей; наклон плоскости пути к горизонту; ортогональность оси опоры крана до его несущей балки и оси этой несущей к оси подкранового пути; разность диагоналей прямоугольника, составленного положениями оснований опор крана на рельсовом пути в крайних положениях крана на этом пути и др. [152, 161].

### **1.3. Условия и геодезические методы контроля путей и ходовой части мостовых кранов**

Для проверки соответствия геометрии мостовых кранов и подкрановых путей требованиям «Правил...» [96], предусмотрен систематический геодезический контроль плано-высотного положения рельсов, перекося моста и ходовых колёс крана. Этот контроль заключается в производстве специальных геодезических измерений, которые приходится выполнять в специфических условиях, присущих действующим цехам. Эти условия характеризуются насыщенностью производственных помещений технологическим оборудованием, плохой освещённостью, вибрацией механизмов, высокой температурой, наличием конвекционных потоков воздуха, расположением путей на высоте, наличием токопроводов вблизи рельсов и др.

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на выбор и возможность осуществления той или иной методики геодезической съёмки подкрановых путей, является их доступность для непосредственных измерений ширины колеи, определения непрямолинейности рельсов и их нивелирования. С этих позиций все надземные подкрановые пути мостовых кранов следует разделить на три группы: доступные, труднодоступные и недоступные.

Под доступными будем понимать подкрановые пути, по которым возможно свободное перемещение персонала и наличие на всём их протяжении площадок для установки геодезических приборов. В этом случае имеется возможность осуществления геодезических измерений как на уровне подкрановых рельсов, так и с пола цеха или с других промежуточных горизонтов.

К труднодоступным отнесём такие подкрановые пути, перемещение по которым возможно лишь на кране. Площадок для установки прибо-

ров на таких путях нет. Поэтому здесь частично или полностью отсутствует возможность производства геодезических измерений на уровне подкрановых рельсов.

Недоступные подкрановые пути отличаются тем, что к ним нет непосредственного доступа как для перемещения по ним, так и для установки приборов. Поэтому здесь полностью отсутствует возможность производства геодезических измерений на уровне подкрановых рельсов.

Из сказанного следует, что геодезическую съёмку доступных подкрановых путей можно осуществлять обычными методами и приборами. Съёмку труднодоступных, а тем более недоступных путей можно выполнять только с помощью специальных методик, приспособлений и устройств.

По информативности все методы геодезического контроля надземных подкрановых путей подразделяют на три группы:

1. Методы контроля планового положения подкрановых путей.
2. Методы контроля подкрановых путей по высоте.
3. Методы комплексного (одновременного) контроля подкрановых путей в плане и по высоте.

В соответствии с этим для геодезического контроля пространственного положения подкрановых путей могут применяться как непосредственные, так и косвенные способы определения их геометрических параметров. При этом регистрация получаемой информации может быть визуальной, фотографической, телевизионной, автоматической и др. при одновременном обеспечении требуемой точности и безопасности работ.

Многолетний опыт геодезического контроля подкрановых путей промышленных предприятий Нижегородской области позволяет рекомендовать наиболее оптимальный технологический процесс съёмки, включающий три основных момента: определение непрямолинейности одного из подкрановых рельсов; измерение ширины колеи подкранового пути; нивелирование рельсов. Такая технология (при возможности её осуществления) обеспечивает минимум затрат времени на осуществление съёмки при получении исчерпывающей информации о пространственном положении кранового пути.

В любом случае определение непрямолинейности подкрановых рельсов может осуществляться различными способами створных измерений (оптическими, струнными, лучевыми), способом измерения малых углов или путём определения координат осевых точек рельсов.

Непосредственное измерение ширины колеи контактным или механическим способами производят при помощи рулетки или других приборов для механических измерений линейных величин.

Косвенный метод предусматривает определение ширины колеи из линейно-угловых геодезических построений (способы ломаного базиса, микро-триангуляции, четырёхугольника). Нивелирование подкрановых рельсов выполняется геометрическим, тригонометрическим или гидростатическим методами.

Дополнительные измерения предусматривают: измерение смещения рельса с оси подкрановой балки; измерение расстояния от грани каждой ко-

лонны 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).

Возможны различные сочетания одновременного определения прямолинейности подкрановых рельсов, ширины колеи и нивелирования подкрановых путей. А при использовании специальных приборов и устройств могут быть автоматизированы как отдельные операции комплексного контроля плано-высотного положения рельсов, так и весь процесс в целом.

Для определения оптимального положения подкрановых путей (величины их рихтовки) применяют метод наименьших квадратов, линейное и квадратическое программирование, графические методы с использованием прямолинейных или криволинейных оформляющих линий.

Определение перекоса ходовых колёс мостового крана и выверка неравенства диагоналей его моста представляют довольно сложную задачу. Её решение осуществляется с помощью различных геодезических построений с использованием струнных, струнно-оптических, оптических или лучевых створов. Створы могут быть произвольными, параллельными или сопараллельными оси пути или базе крана.

При этом следует учитывать, что задача определения перекоса ходовых колёс может быть осложнена тем, что букса 2 (рис. 2, б) не позволяет использовать весь диаметр колеса в качестве замерной базы. Для измерения величины перекоса доступна лишь нижняя часть обода колеса, хорда которой составляет всего 0,5-0,6 величины диаметра  $D$ . Это существенно сказывается на точности получаемых результатов. И, наконец, при определении и устранении углов перекоса колёс крана необходимо учитывать угол перекоса его моста, поскольку он входит в результат измерений как систематическая ошибка.

#### 1.4. О точности геодезической съёмки подкрановых путей

Один из наиболее простых методов геодезического контроля планового положения подкрановых путей заключается в проверке прямолинейности одного из рельсов и измерении ширины колеи.

Для этого необходимо одним из перечисленных выше способов задать створ  $C_1C_2$  (рис. 3, а), который может проходить через начальную 1 и конечную  $n$  осевые точки одного из рельсов (например, правого) или на некотором расстоянии  $l_1$  и  $l_n$  от его оси.

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 рас-

стояния  $l_1, l_2, \dots, l_n$  от створа до оси рельса, а также ширину колеи  $L_1, L_2, \dots, L_n$ , вычисляют отклонения  $\Delta l_i$  оси правого рельса от прямой линии как разности:

$$\Delta l_i = l_i - l_n, \quad (1)$$

причём, при такой схеме измерений (рис. 3, а) знак плюс этих разностей означает отклонение оси рельса от прямой линии влево, знак минус – отклонение вправо, а  $\Delta l_1 = \Delta l_n = 0$ .

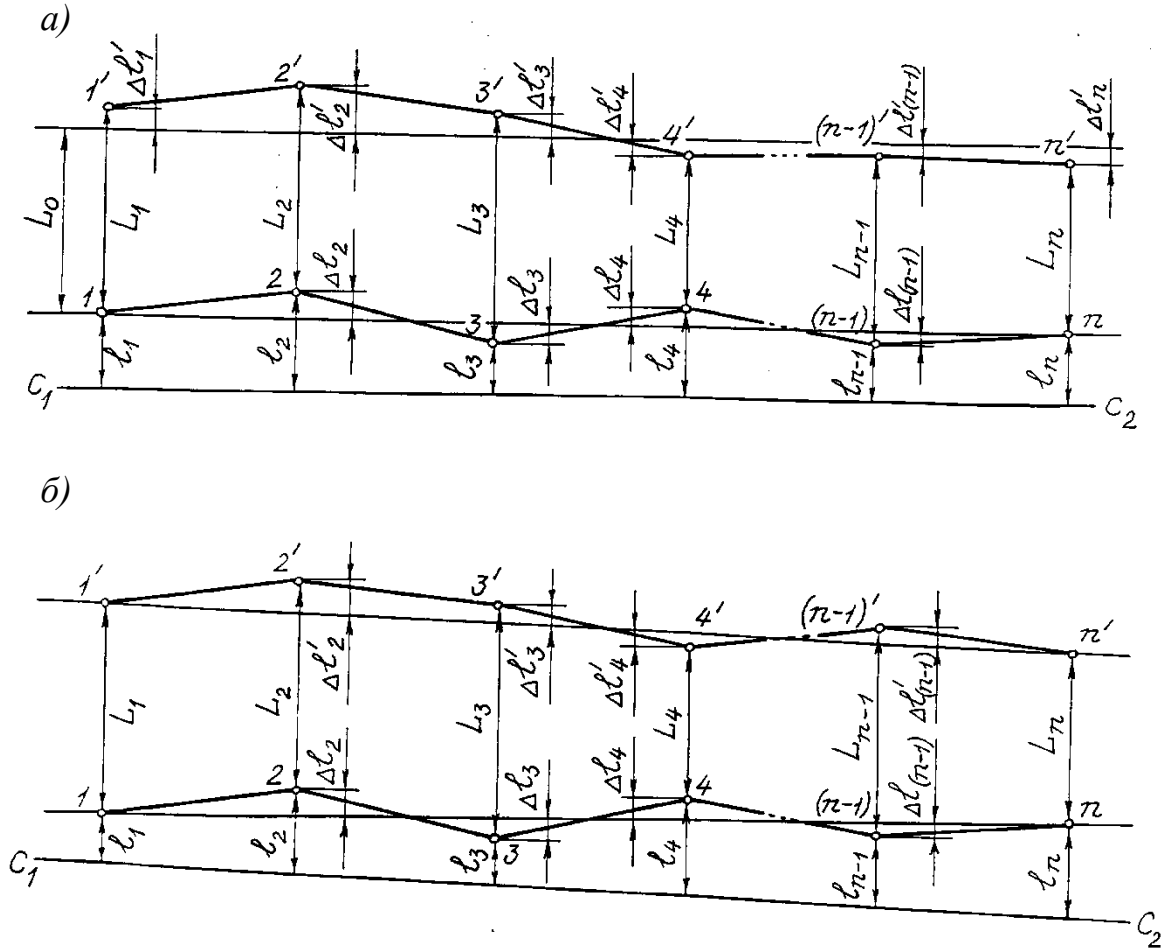


Рис. 3. Схемы к определению планового положения подкрановых рельсов

Если провести параллельно линии 1-1' 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 1-1' правого рельса. В этом случае отклонения  $\Delta l'_i$  оси левого рельса от прямой линии будет равно:

$$\Delta l'_i = \Delta l_i + L_i - L_0, \quad (2)$$

с учетом знака  $\Delta l_i$ .

Такой подход позволяет решать одновременно две задачи: во-первых – осуществлять контроль прямолинейности подкрановых рельсов и их взаим-

ной 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:

$$\Delta l'_i = \Delta l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} L_1 - \frac{i-1}{n-1} L_n, \quad (3)$$

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

При произвольно ориентированном створе  $C_1C_2$  (рис. 3, б), отклонения  $\Delta l_i$  оси правого рельса от прямой  $1-n$  вычисляют по формуле:

$$\Delta l_i = l_i - \frac{n-i}{n-1} l_1 - \frac{i-1}{n-1} l_n, \quad (4)$$

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

$$\Delta l'_i = l_i + L_i - \frac{n-i}{n-1} (l_1 + L_1) - \frac{i-1}{n-1} (l_n + L_n). \quad (5)$$

Приняв средние квадратические ошибки (СКО) измерений  $m_{l_1} = m_{l_i} = m_{l_n} = m_l$  и  $m_{L_1} = m_{L_i} = m_{L_n} = m_L$ , получаем [129] для случая на рис. 3, а и согласно выражения (1):

$$m_{\Delta l_i} = m_l \sqrt{2}, \quad (6)$$

а для левого рельса согласно выражения (2) имеем:

$$m_{\Delta l'_i} = \sqrt{2m_l^2 + m_L^2}. \quad (7)$$

В свою очередь для случая вычисления  $\Delta l'_i$  по формуле (3) оценку точности следует производить следующим образом:

$$m_{\Delta l'_i}^2 = m_{\Delta l_i}^2 + m_L^2 \left[ 1 + \left( \frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Расчёты показывают, что при  $n = 10, 20, 30$  сумма слагаемых в квадратных скобках находится в пределах 1,5-1,9 и в среднем составляет 1,6.

Если прямолинейность подкрановых рельсов проверяют по схеме на рис. 3, б, то согласно выражения (4) получим:

$$m_{\Delta l_i}^2 = m_l^2 \left[ 1 + \left( \frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2 \right] = 1,6m_l^2, \quad (9)$$

а для левого рельса в соответствии с формулой (5) имеем:

$$m_{\Delta l_i'}^2 = (m_l^2 + m_L^2) \left[ 1 + \left( \frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2 \right] = 1,6(m_l^2 + m_L^2). \quad (10)$$

В рассмотренном примере погрешность определения прямолинейности рельсов зависит от точности  $m_l$  и  $m_L$  соответственно измерения расстояний от створа до оси рельса и измерений ширины колеи. При назначении точности измерения этих параметров необходимо иметь в виду, что завышенная точность приводит к неоправданным затратам труда и времени, а заниженная точность искажает фактическое значение определяемого параметра со всеми вытекающими из этого последствиями.

Практически все исследования отечественных и зарубежных учёных, связанные с нормированием точности геодезических работ, направлены на обоснование корректного перехода от допусков  $d$  СНиП к СКО  $m$  геодезических измерений. В нашей монографии [133] выполнен критический анализ таких работ [13, 20, 21, 30, 38, 98] и предложена формула:

$$m = \frac{0,4d}{t}, \quad (11)$$

где  $t$  – нормированный множитель (1,6; 2,0; 2,5; 3,0), которому соответствует определённое значение доверительной вероятности  $p$  (0,890; 0,955; 0,988; 0,997).

Таким образом, если в качестве допуска  $d$  принять нормативные допуски, определяемые «Правилами...» [96], то СКО измерения ширины колеи (при допуске 15 мм на её сужение или расширение) составит 2,4 мм при  $t = 2,5$ .

Что касается нормативного допуска на отклонение рельса от прямой линии, то в [96] он отсутствует. По нормативным документам предыдущих лет он составлял 20 мм на 40 м подкранового пути. Поэтому при  $t = 2,5$  можно, согласно (11), принять СКО определения  $\Delta l_i'$  (рис. 3) равной 3,2 мм, а СКО  $m_l$  измерения расстояний  $l_i$  от створа  $C_1C_2$  до оси правого рельса должна быть 1,5 мм [133].

Следует помнить, что точность получаемых результатов при съёмке подкрановых путей зависит, помимо прочего, от внешних условий. В закрытом помещении на уровне подкрановых путей воздух представляет собой оптически неоднородную среду, в которой коэффициент преломления непрерывно меняется от точки к точке.

Искривление светового луча в горизонтальной плоскости происходит преимущественно за счёт горизонтальных градиентов температуры. Поэтому



на результаты створных наблюдений будет влиять боковая рефракция. О возможных путях её учёта можно прочесть в работах [28, 72]. Кроме того, рекомендуется, особенно в зимнее время, исключать поступление холодного воздуха в цех, а линию створа выносить в плане на расстояние не менее 1 м от колонн и выше подкрановых рельсов, или же на линии створа измерить температурный градиент  $dt/dh$  и в результаты измерений вводить поправки за рефракцию.

При высотной выверке подкрановых путей нормативный допуск для поперечных превышений между рельсами составляет 40 мм, для продольных 10 мм. Следовательно, если в формуле (11) в качестве допусков  $d$  принять указанные величины, то при  $t = 2,5$  СКО измерения разности отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении и на соседних колоннах будут соответственно 6,4 мм и 1,6 мм.

Необходимо помнить, что на результаты геометрического нивелирования может оказывать влияние вертикальная рефракция, вызывающая искривление визирного луча в вертикальной плоскости в основном за счёт влияния вертикального градиента температуры и давления. Например, при  $dt/dh = 2,7$  град/м, средней температуре  $10^\circ\text{C}$  поправка за рефракцию может достигнуть 4,3 мм [28].

С другой стороны, для предрасчёта точности измерений необходимо учитывать ошибку отсчёта по рейке  $m_o$ . Авторами статьи [29] предлагается формула для СКО  $m_o$ :

$$m_o = \left( 0,023t + 0,425 \frac{S}{V} \right), \quad (12)$$

где  $S$  – длина визирного луча, м;  $V$  – увеличение зрительной трубы;  $t$  – цена деления рейки, мм.

При  $V = 25^X$ ,  $S = 10-100$  м и  $t = 10$  мм ошибка отсчёта по рейке в закрытых действующих производственных помещениях может достигать 0,4-1,93 мм.

В геодезической литературе известен целый ряд других формул для вычисления  $m_o$ , например:

$$m_o = \left( 0,03t + 0,20 \frac{S}{V} \right), \quad (13)$$

$$m_o = \left( 0,2 + 0,019 \frac{S}{V} t \right).$$

По этим формулам ошибка отсчёта получается значительно меньше по сравнению с (12). Поэтому применение той или иной формулы должно быть обусловлено в каждом конкретном случае влиянием внешних факторов.

Сведения о точности геодезической съёмки подкрановых путей, приведенные в данном разделе, на этом не исчерпываются. Они будут отражаться в необходимой мере во всех последующих главах.

## 1.5. Некоторые приспособления для геодезической съёмки подкрановых путей

Специфические условия геодезической съёмки надземных подкрановых путей побуждают исследователей к постоянному поиску, разработке и изготовлению различных приспособлений, обеспечивающих безопасность работ, повышение их производительности и точности. В нашей книге [133] приведено описание таких приспособлений, приборов и устройств. В данной монографии ограничимся лишь краткими сведениями о них, обращая внимание на те, которые представляют определённый интерес с точки зрения их использования и возможного совершенствования.

В работе [82] описан уровень с подсветкой, содержащий стержень, в котором выполнены три окна для размещения изогнутых ампул. К каждой ампуле подведено электропитание от батареи для освещения лампочкой.

В наших работах [123, 125] предложены два приспособления для подсветки круглого уровня при приведении нивелира в рабочее положение и цилиндрического уровня перед взятием отсчётов по рейке во время работы в условиях слабой освещённости.

В комплект первого приспособления (рис. 4) входят серийно изготавливаемые две осветительные головки 1 и 4, блок управления (выключатель) 2 и аккумулятор 3ШКНП-10Б (150x105x80 мм) 3.

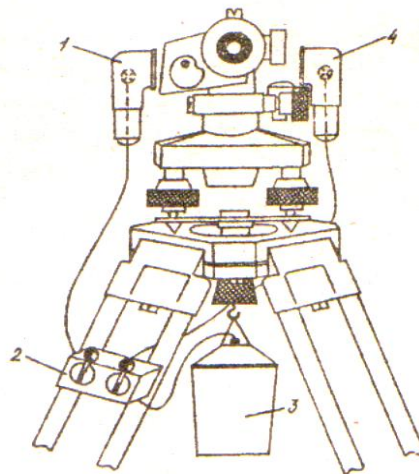


Рис. 4. Нивелир Н-3 с приспособлением для подсветки

Второе устройство (рис. 5) содержит гильзу 1, в которую помещается обычный карманный фонарик 2, на рефлекторе которого крепится насадка 3, стопорные винты 4 и 5, световод на основе стекловолокон 6 с цилиндрическим 7 и фигурным наконечником в виде «щётки» 8, длина которой соответствует размерам осветительного окна цилиндрического уровня.

В работе [81] предлагается конструкция осветителя, содержащая одну лампочку, питаемую от аккумулятора. Свет от лампочки к концам пузырька уровня подаётся с помощью двух пар волоконных световодов. Осветитель снабжён также таймером, отключающим освещение через заданный интервал времени.

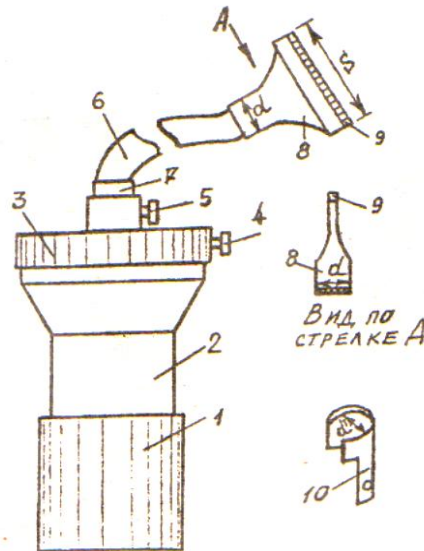


Рис. 5. Волоконно-оптическое устройство

В работе [42] рекомендуется использовать специальное устройство – держатель рейки (рис. 6). Оно представляет собой металлическую пластинку 2 с двумя П-образными скобами 3, размер которых обеспечивает свободное перемещение в них рейки.

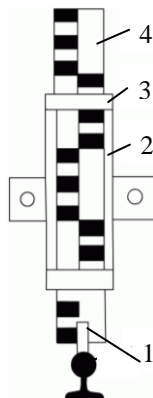


Рис. 6. Устройство-держатель для нивелирной рейки

В пятках реек вмонтированы ролики 1 (шарикоподшипники) диаметром 25-30мм. Перед началом работы держатели закрепляют на торцевых балках крана над рельсами и в них вставляют рейки 4. Под действием своего веса рейки опускаются на рельсы и с помощью роликов свободно перемещаются по ним при движении крана.

Швейцарской фирмой «Вильд» разработано подвесное крепёжное устройство *GST9* (рис. 7) для установки геодезических приборов в условиях, где применение обычных штативов затруднено [133]. Устройство позволяет устанавливать прибор на вертикальных, горизонтальных и наклонных элементах конструкций.

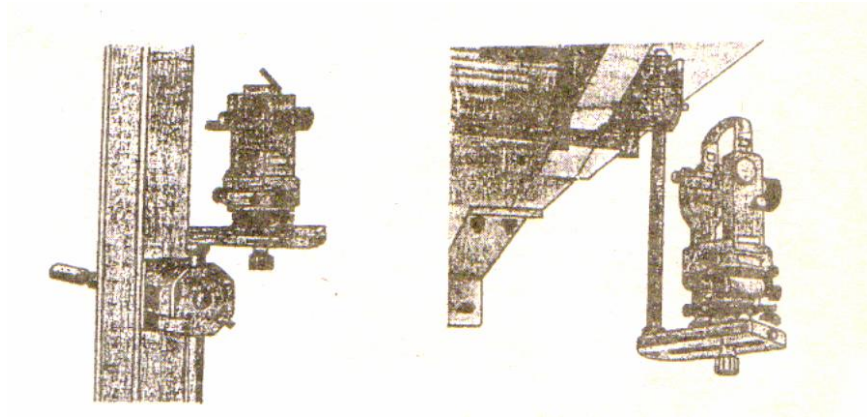


Рис. 7. Подвесное крепёжное устройство

Аналогично, в работе [99] предлагается специальная подставка под геодезические приборы, пластина которой крепится к плоскости строительной конструкции.

Для закрепления геодезических приборов непосредственно на рельсе предназначен штатив И.К. Яценко [133], штатив А.М. Рускова [5], устройство В.М. Ламбина с войлочными прокладками для уменьшения влияния вибраций [24], центрировочный столик В.Ф. Черникова и штатив по патенту [79].

Из приспособлений для бокового нивелирования подкрановых рельсов при проверке их прямолинейности отметим предложенные в работах [40, 105] нивелирные рейки со специальным контактным устройством на их пятке. В статье [163] описано устройство, состоящее из двухсторонней рейки и плоского зеркала, установленных на прямоугольной раме так, что в поле зрения трубы теодолита одновременно видны передняя и отражённая в зеркале задняя плоскости рейки. Нами [54] предложено приспособление (рис. 15), состоящее из двух вертикальных щёк, соединённых горизонтальной поперечной, между которыми закреплён отрезок двухсторонней нивелирной рейки с возможностью вращения её вокруг продольной оси. Другое наше приспособление [131] отличается от первого возможностью изменения его габаритных размеров в процессе съёмки и для удобства транспортировки (рис. 16).

В работе [75] предложен визирный знак для съёмки подкрановых рельсов тригонометрическим способом. Началу такой съёмки предшествует установка на рельсе необходимого количества таких знаков в заданных точках.

Для повышения точности измерения смещений от центра лазерного пучка в работе [14] рекомендуется перед маркой-экраном установить цилиндрическую линзу, а в фокальной плоскости объектива коллиматора лазерного визира разместить плоскопараллельную пластинку с непрозрачным вертикальным штрихом.

В работах [109, 121] описан специальный экран с автономным фокусирующим устройством, с помощью которого добиваются на экране светового пятна диаметром не более 2 мм.

В работе [21] описана подвижная каретка, предназначенная для створных измерений, которую можно перемещать по рельсу с помощью тросика.

Другой способ перемещения каретки с маркой-экраном предусматривает её крепление к концевой балке мостового крана с использованием различных способов дистанционной регистрации отсчётов по марке-экрану.

В работе [143] описано приспособление для съёмки кранового пути под нагрузкой от веса крана, которое закрепляется на его концевой балке. При выполнении съёмки кранового пути в ненагруженном состоянии каретка с маркой перемещается вручную.

Целая серия специальных экранов описана в работах [24, 63]. Их назначение заключается в копировании положения оси рельса в планово-высотном отношении специальной маркой, установленной на вертикальном стержне на заданную высоту. В экране ЭЛ-1 установка марки осуществляется по уровню, в экране ЭЛ-2 марка работает по принципу жёсткого отвеса, экран ЭЛ-3 жидкостно-поплавкового типа, а экран ЭЛ-4 маятникового типа. Экраны могут перемещаться по рельсу вручную, с помощью трособлочной системы или специальной тележки, автономно передвигающейся по рельсу по командам с земли.

В качестве примера такой тележки можно привести описанное в работе Н.Е. Ламбина и др. (*Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1981, №3, С.35*) устройство для съёмки подкрановых путей, автономно перемещающееся по командам с земли. Устройство (рис. 8) представляет собой каретку с координатным экраном 10, который работает по принципу жёсткого отвеса 1.

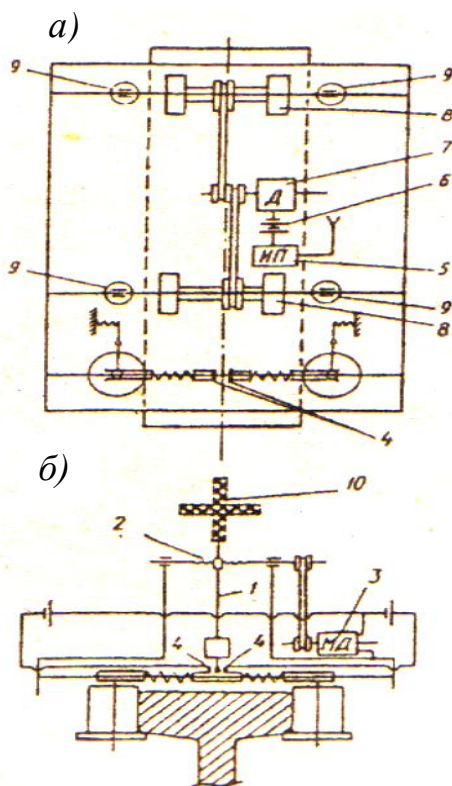


Рис. 8. Каретка с экраном и электродвигателем:

а – вид сверху, б – вид сбоку

Нижняя часть отвеса располагается между клеммами 4, а верхняя часть перемещается перпендикулярно к оси рельса с помощью винта 2 и микроэлектродвигателя 3. При установке экрана в контролируемых точках рельса,

в случае отклонения каркаса от вертикали, стержень 1 наклонится и замкнётся нижней частью с одной из клемм цепи питания МД, что приведёт к его включению и вызовет перемещение винта 2. В результате этого стержень передвинется в противоположную от клеммы сторону до размыкания цепи, то есть до установки его в вертикальное положение.

Движение каретки по подкрановым путям, вес которой около 5 кг, осуществляется по команде передатчика, поступающей на исполнительный прибор 5. Последний включает источник питания 6 реверсивного электродвигателя 7, связанного с обрешиненными колёсами 8. Боковые ролики 9 служат направляющими. Планово-высотное положение рельса контролируется путём взятия отсчётов по экрану.

Отличительной особенностью каретки 1 (рис. 9) с дистанционным управлением в виде передатчика 2 системы *MODELA DIGI TX* 1и блоком питания 3 является наличие радиоприёмника с антенной и круговой, подсвечиваемой изнутри, рейки с делениями [165]. Начало рейки находится в контакте с поверхностью рельса.

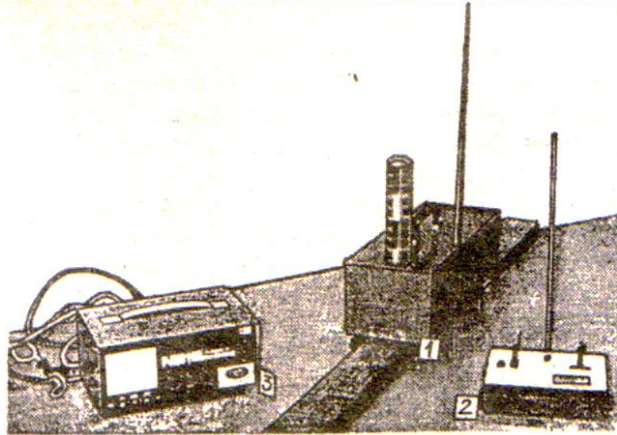


Рис. 9. Каретка с дистанционным управлением

На каретке может быть установлена горизонтальная шкала, нулевое деление которой совмещается с осью рельса при помощи центрировочных «ножниц».

Дистанционно управляемая визирная марка 1, установленная с возможностью перемещения вдоль горизонтальных направляющих, расположенных внутри корпуса 2 под действием асинхронного электродвигателя ДИД-2ГА в сочетании с автономно перемещающейся тележкой [17] может представлять определённый интерес для проверки прямолинейности подкрановых рельсов (рис. 10).

Пределы перемещения марки  $\pm 100$  мм со скоростью 2 см/с. Совместив с помощью блока управления 3 биссектор марки с сеткой нитей теодолита, получают на цифровом табло блока электронного дистанционного отсчёта 4 значение отклонения марки относительно створа.

В НИИГАиК была разработана радиоуправляемая подвижная марка, пределы перемещения которой  $\pm 25$  мм, дальность действия системы радиоуправления 500 м, точность отсчётного устройства 0,1 мм, масса 1,9кг.

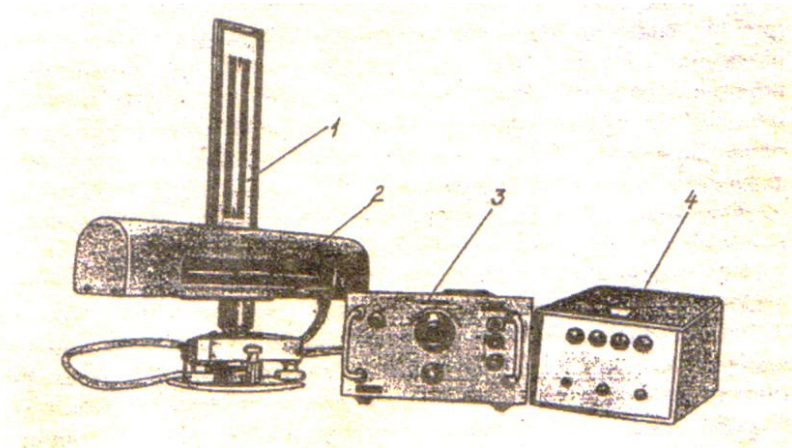


Рис. 10. Подвижная визирная марка

Для непосредственных измерений ширины колеи были предложены различные приспособления. В работах [21, 116, 117] описаны устройства, где в качестве мерного прибора используется проволока или рулетка и фиксаторы оси рельса. Для уменьшения погрешности за провес предложен специальный компенсатор [162], а в работе [49] описывается устройство, в основу которого положено использование разности стрел провеса двух проволок.

В ЛИСИ разработан прибор РО-50 [1], предназначенный для автоматизации измерения величины отклонения ширины колеи от проектного значения (рис. 11).

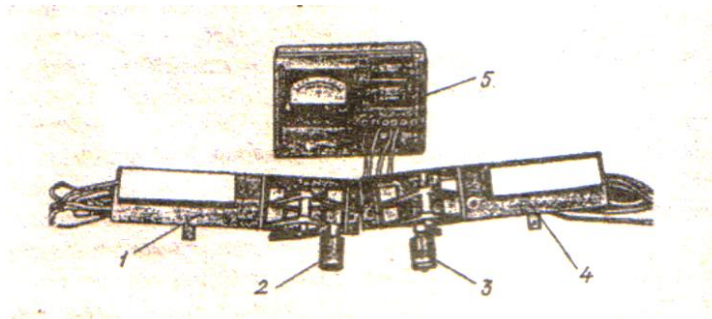


Рис. 11. Прибор РО-50

Прибор состоит из двух однотипных электромеханических датчиков линейных перемещений 1 и 4, контактирующих с боковой гранью рельса посредством роликов 2 и 3. Для этого датчики крепятся к главной или концевым балкам крана. При движении крана прибором непрерывно регистрируются отклонения ширины колеи от проектного значения путём визуального отсчёта по шкале измерительного блока 5, цена деления которой 1 мм. Масса прибора около 5 кг, диапазон измерений 50 мм, точность измерений для ширины колеи 10, 20, 30, 40 м составляет соответственно 1,8; 2,8; 3,0; 3,7 мм.

Применение лазерных рулеток позволяет значительно упростить и ускорить процесс выполнения непосредственных измерений ширины колеи. Однако здесь основная трудность заключается в доставке рулетки в точки замера, которые располагаются на уровне подкрановых рельсов. Это требует

выхода персонала на крановый путь. Для устранения этого недостатка нами было разработано простое лазерно-зеркальное устройство (ЛЗУ) для производства таких измерений дистанционно [134].

Сущность ЛЗУ заключается в том (рис. 12), что с помощью удлинительной штанги в точках замера устанавливают плоское зеркало, расположенное под углом  $45^\circ$  к направлению лазерного пучка рулетки, которая также закреплена на штанге на известном расстоянии  $S$  от зеркала. 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  $80 \times 120$  мм и толщиной 3 мм.

Рулетка *HD 150* имеет кнопку 3 «вкл/выкл», цилиндрический уровень 4, дисплей 5, кнопку управления 6, кнопку подсветки дисплея 7. Кнопка 2 рулетки предназначена для измерения расстояний от 0,3 до 30 м без отражателя и до 150 м – с отражателем. Другие кнопки служат для определения площадей, объёмов, высоты сооружений и производства *min/max* измерений. Вес рулетки 430 г (с четырьмя батарейками типа АА), её размеры  $170 \times 70 \times 46$  мм.

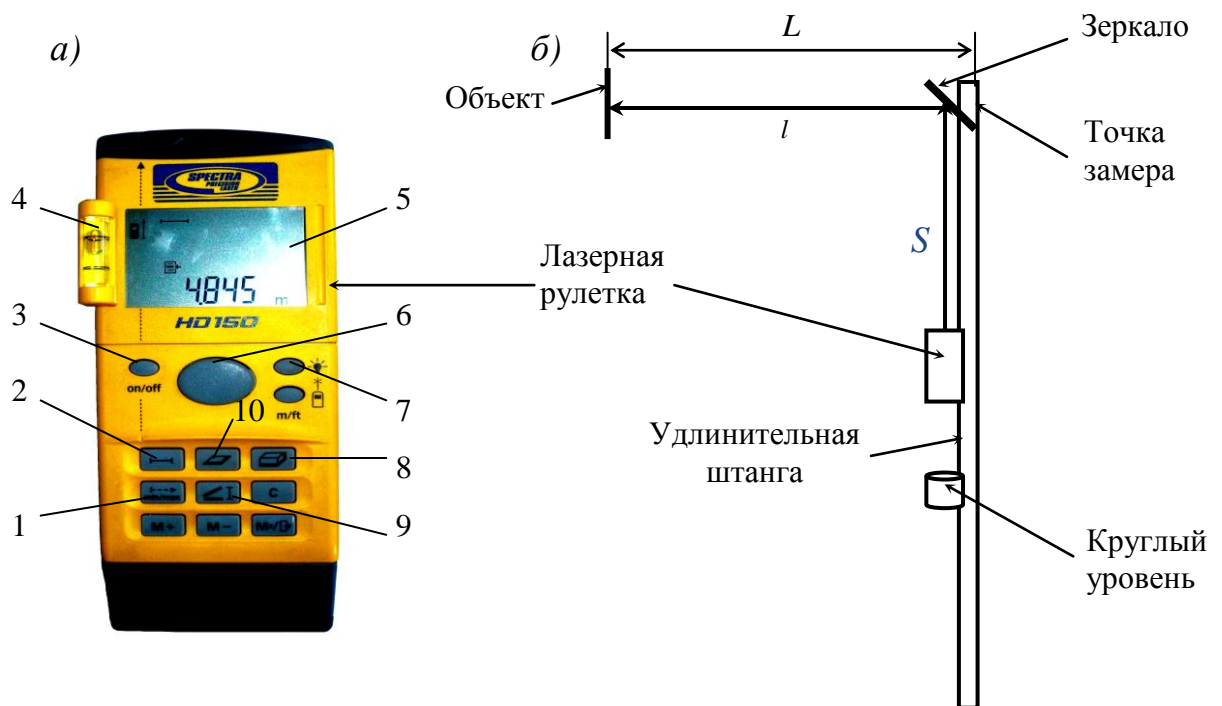


Рис. 12. Лазерная рулетка *HD 150* (а) и схема лазерно-зеркального устройства ЛЗУ (б)

Устройство работает следующим образом. С помощью удлинительной штанги устанавливают зеркало в точке замера. Включают рулетку и направляют отраженный от зеркала лазерный пучок на объект. Рулетка выдаст на дисплее результат, равный сумме расстояний от неё до зеркала  $S$  и от зеркала до отражающей поверхности  $l$ , до которой производятся измерения. Вытя



из показаний дисплея постоянное слагаемое  $S'$ , которое зависит от расстояния  $S$  и поправки за положение зеркала относительно точки замера, получим искомый результат  $L$ .

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.

Результаты выполненных нами 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.

Величину вертикальной рихтовки подкрановых путей предлагается определять путём изменения высоты визирного луча и фиксации величины этого изменения по шкале с миллиметровыми делениями [56].

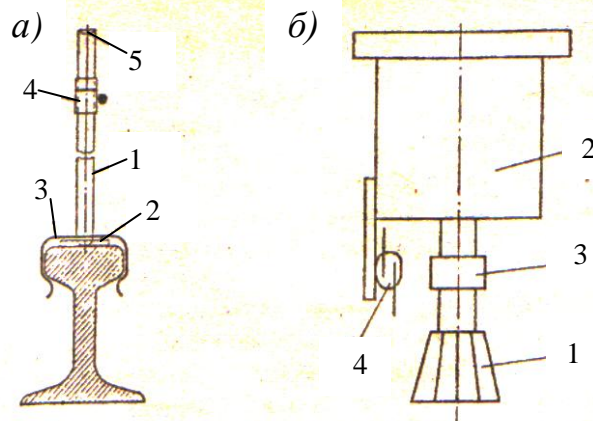


Рис. 13. Устройства для определения величины вертикальной рихтовки

Такое устройство (рис. 13, а) состоит из стойки 1, на одном конце которой установлен круглый уровень 5, а на другом пластинчатая пружина 2. Стойка диаметром 2,5 см и длиной 1,2-1,5 м укреплена на металлическом зажиме 3. Подвижный цилиндр 4 с насечкой служит для фиксации на стойке высоты визирного луча, относительно которого производится рихтовка. Переставляя стойку в заданные точки рельса, производят его рихтовку по высоте до момента совпадения насечки с визирным лучом.

Известен целый ряд подобных механических устройств, одно из которых (рис. 13, б) описано в работе [101]. Оно состоит из полого цилиндра, прикреплённого к головке штатива с возможностью изменения своего положения по высоте. На стакане 2 установлен герметизированный контакт (геркон) 4, контакты которого подключены параллельно контактам клавиши «равняется» микрокалькулятора 3, закреплённого на штативе. При вращении

ручки 1 на табло высвечивается число, обозначающее величину рихтовки с соответствующим знаком. Такое сочетание может быть также использовано для безреечного нивелирования, а также для других способов съёмки подкрановых путей [100].

В работе [21] приведено описание устройства В. Януша, предназначенного для определения относительного отклонения ширины колеи путём механической записи боковых перемещений крана по рельсам (рис. 14).

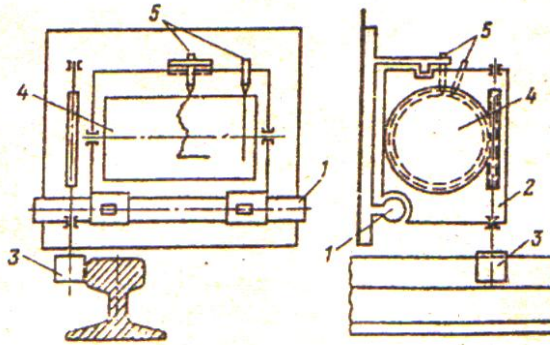


Рис. 14. Устройство для механической записи боковых перемещений крана по рельсам

Два таких устройства укрепляются на противоположных концах крана. Ролик 3 при движении крана передаёт вращательный момент на барабан 4, а изменения ширины колеи и поперечные перемещения крана по рельсам вызывают поступательное движение барабана вдоль направляющей 1. В результате этого одно пишущее приспособление 5, закреплённое на раме барабана, вычерчивает на нём базовую прямую, а другое, связанное с мостом крана, вычерчивает кривую. Так как поперечные перемещения крана вызывают перемещение обоих роликов 3 на одинаковую величину, но в различных направлениях, то величина относительного отклонения ширины колеи будет равна алгебраической сумме соответствующих отрезков между опорной и кривой линией на графиках.

Другие простые, полуавтоматизированные и автоматизированные приспособления, приборы и устройства, в том числе основанные на современных достижениях науки и техники, будут рассмотрены в последующих главах.

## Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ РЕЛЬСОВ

Для определения боковых смещений рельсовых осей относительно прямой линии применяется ряд способов непосредственных или косвенных измерений. Наиболее часто такая прямая линия проходит через две точки 1 и  $n$  (рис. 3), расположенные в начале и конце рельсовой нити или в непосредственной к ней близости. В этом случае определение непрямолинейности осуществляется различными способами створных измерений [106]: способом струнного створа; с использованием базисных линий на полу цеха; способом оптического створа, задаваемого визирной осью теодолита; с помощью под-

вижной марки; путём измерения малых углов; способом лучевых створов, задаваемых лазером.

При выполнении створных измерений можно поступать двояко. В одном случае достаточно определить непрямолинейность одного из рельсов, а непрямолинейность другого вычислить, используя результаты измерения ширины колеи подкранового пути по методике изложенной в разделе 1.4. В другом случае, используя так называемый способ четырёхугольника, определяют непрямолинейность обоих рельсов, а ширину колеи получают расчётным путём. Поэтому на практике в большинстве своём створные измерения и контроль ширины колеи являются взаимосвязанными операциями.

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 даёт возможность осуществлять комплексный контроль положения подкрановых рельсов как в плане, так и по высоте.

## 2.1. Способ струнного створа

Вдоль рельса натягивают струну из тонкой стальной проволоки диаметром 0,2-0,4 мм. Если струна расположена на уровне верхней грани рельса, то расстояние между точками рельсовой оси и струной может быть измерено линейкой с миллиметровыми делениями шкалы.

При большой длине струны, вследствие провисания, её приходится натягивать на некоторой высоте от рельса. В этом случае производят измерения между осевыми точками рельса и проекцией струны на плоскость, проходящую через верхнюю грань головки рельса.

Проектирование струны может осуществляться с помощью нитяного отвеса, зенит-приборов или разработанных специально для этих целей измерителя кривизны ИКС-1 (Изв. вузов. Геод. и аэрофотосъёмка, 1964, вып. 6) или зеркального отвеса [21]. В приборе ИКС-1 положение створа струны определяется визуально путём совмещения самой струны с её зеркальным отражением. В зеркальном отвесе эта операция осуществляется совмещением отражений струны в двух разноудалённых зеркалах.

Если базисные прямые линии, относительно которых определяют отклонения рельсов, закреплены на полу цеха, то для проектирования этих линий на уровень подкрановых путей применяют приборы оптического вертикального проектирования типа Зенит-ОЦП, ПОВП, ПВП-Т, ПВП-В, *PZL*, *FG-L100* или лазерные ОЦП типа ЛЗЦ-1, *LL-132*, *APLO-KP3*, *LV1*.

Способ струнного створа прост и не требует высокой квалификации исполнителей. Однако его точность существенно зависит от колебаний струны, амплитуда и частота которых обусловлена длиной струны, вибрацией несущих конструкций и другими внешними факторами. Колебания струны возрастают с увеличением стрелы провисания и составляют обычно 0,1 её величины. Следовательно, в случае необходимости регистрации положения оси рельса с точностью 1 мм, стрела провисания не должна превышать 10 мм.

Поэтому, при наличии неблагоприятных факторов приходится ограничивать длину струны до 40-50 м.

Другим недостатком способа является то, что наличие струны может затруднить перемещение персонала по подкрановому пути и полностью исключает использование крана для таких перемещений.

При проектировании струнного створа необходимо предварительно подсчитать стрелку провисания струны в её средней части  $f = GS^2/8H$ , где  $G$  – масса одного погонного метра проволоки, кг;  $S$  – длина створа, м;  $H$  – натяжение струны, кг.

Максимально допустимое натяжение, равное  $2/3$  от предела прочности проволоки не должно превышать  $100d^2$ , где  $d$  – диаметр проволоки. Так, при  $d = 0,2$  мм натяжение  $H = 4$  кг.

При наличии воздушного потока, его влияние на отклонение  $\Delta$  струны в середине створа оценивают по формуле  $\Delta = dv^2S^2/64H$ , где  $v$  – скорость потока, м/с.

С учётом сказанного, при расчёте точности способа струнного створа, используемого для определения непрямолинейности рельсов, следует также учитывать погрешность фиксации точек рельсовых осей и измерения расстояния от оси рельса до струны.

## 2.2. Способ оптического створа

Здесь в качестве створной линии  $C_1C_2$  (рис. 3) используется визирный луч зрительной трубы теодолита, нивелира или другого оптического устройства. Сущность способа может быть основана на принципах бокового нивелирования или других методах створных измерений. Одним из таких методов может быть параллельный перенос визирной оси, например, с помощью специальной насадки на объектив измерительного прибора [19] или путём непосредственного перемещения самого прибора в перпендикулярном к створу направлении [71].

Боковое нивелирование наиболее просто осуществлять, используя специальное приспособление [54], которое широко применялось нами при съёмке подкрановых путей промышленных предприятий и ТЭЦ Нижегородской области.

Приспособление (рис. 15, б, в) состоит из двух щёк 2 и 7 соединённых горизонтальной поперечиной 8. Между щёками закреплён болтами 3 и 6 отрезок двухсторонней нивелирной рейки 5 с возможностью вращения её вокруг продольной оси. В горизонтальное положение рейка устанавливается по уровню 4 с помощью подпятника 1 в виде дугообразной пластинчатой пружины. Вращая рейку вокруг продольной оси, можно брать отсчёты по её чёрной и красной сторонам. Ширина щеки 2 при плотном её прилегании к боковой грани головки рельса обеспечивает перпендикулярное положение рейки к его оси и исключает, в отличие от точечных замеров [105], влияние локальных повреждений этой грани на результаты измерений.

Для того, чтобы устранить влияние одностороннего износа боковой грани головки рельса на точность получаемых результатов, приспособление снабжено дополнительной щекой 9 (рис. 15, в). Эта щека должна располагаться на некотором расстоянии от щеки 7, превышающем ширину головки рельса  $q$  на некоторую величину  $\delta$ .

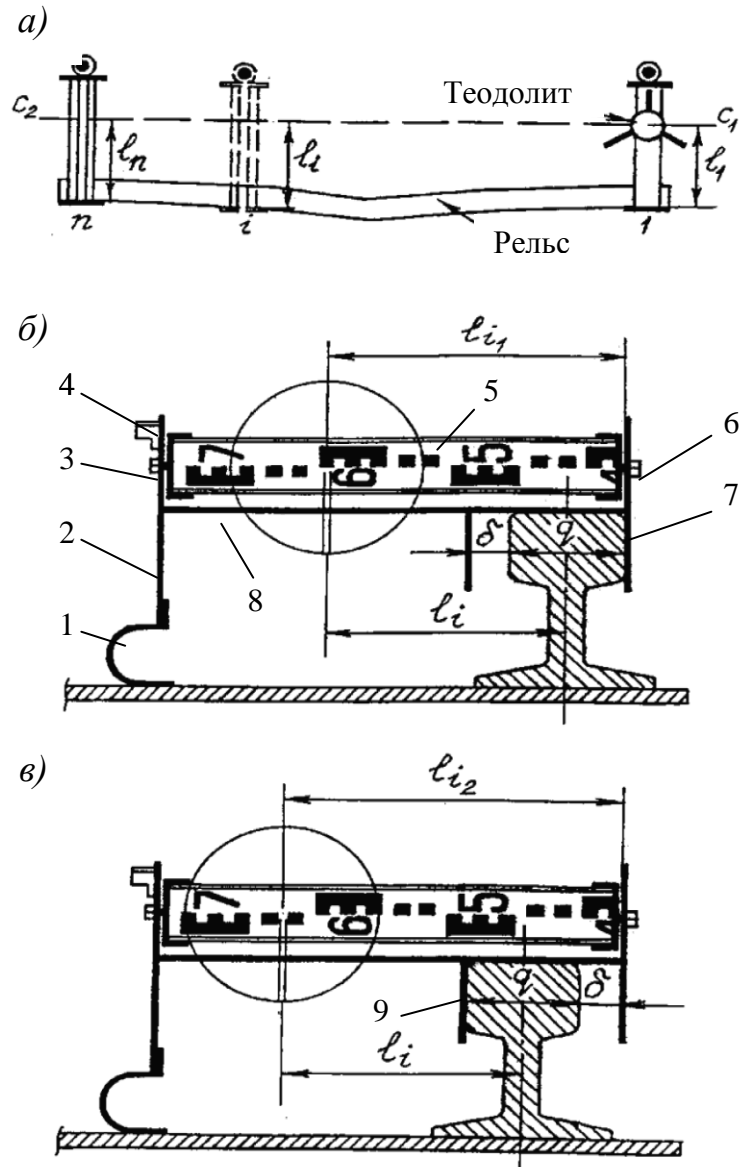


Рис. 15. Схема бокового нивелирования (а) с приведением результатов к оси рельса (б) и (в)

Соприкосновению щеки 7 с боковой гранью рельса соответствует некоторый отсчёт по рейке  $l_{i,1}$ , а соприкосновению щеки 9 с другой боковой гранью рельса соответствует некоторый отсчёт  $l_{i,2}$ . В первом случае отсчёту по рейке соответствует расстояние до оси рельса  $l_{i,1} - q/2$ , а во втором случае  $l_i = l_{i,2} - \delta - q/2$ .

Сложив почленно оба эти равенства, получим  $l_i = \frac{1}{2}(l_{i,1} + l_{i,2}) - \frac{1}{2}(\delta + q)$ , но величина  $(\delta + q)$  постоянна, следовательно, среднее арифметическое

из двух отсчётов по рейке будет соответствовать отсчёту, приведённому к оси рельса.

Методика измерений заключается в следующем. Теодолит устанавливают в начале рельсового пути и с помощью нитяного или оптического отвеса берут по рейке приспособления отсчет  $l_1$  (рис. 15, а). Переносят и устанавливают приспособление в конце рельсового пути и ориентируют визирную ось зрительной трубы теодолита по линии  $C_1C_2$ , наведя вертикальную нить сетки на отсчет по рейке  $l_n = l_1$ .

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-щёку (рис. 15, б), а затем другой (рис. 15, в). Среднее арифметическое из этих отсчётов даст приведенное к оси рельса расстояние  $l_i$  до створа  $C_1C_2$ , а их разность равна  $\delta$ , по величине которой (зная расстояние между упорами) можно определить ширину головки рельса  $q$  и судить о её износе. Аналогично можно получить приведенный к оси рельса отсчёт по другой стороне рейки. При необходимости все действия можно повторить, сменив положение вертикального круга теодолита. Отклонения оси рельса от прямой линии вычисляют по приведенной выше формуле (1).

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

Если оптический створ  $C_1C_2$  ориентирован произвольно, то есть  $l_1 \neq l_n$ , то для определения отклонений оси рельса от прямой линии, проходящей через его начальную и конечную точки, следует использовать выражение (4), подставляя в него соответствующие отсчёты по рейке приспособления.

Другое наше приспособление [131] отличается возможностью изменения (при необходимости) его габаритных размеров в процессе съёмки (рис. 16).

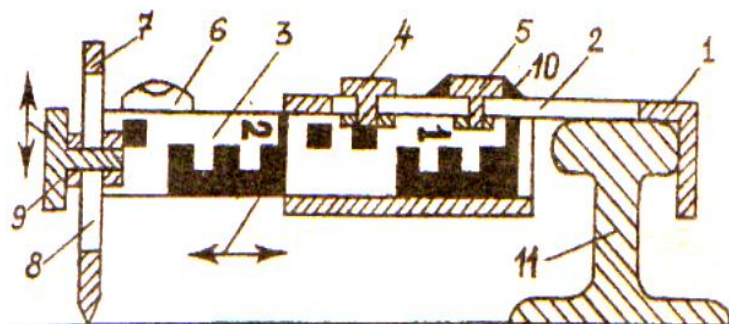


Рис. 16. Приспособление для бокового нивелирования с подвижной рейкой

Оно содержит каркас 1 с продольной прорезью 2, внутри которого закреплён отрезок нивелирной рейки 3 с возможностью его перемещения влево-вправо, фиксирующие винты 4 и 5, уровень 6, щека 7 с прорезью 8 и

стопорным винтом 9. На верхней плоскости каркаса закреплена линейка с миллиметровыми делениями и отсчётный индекс 10.

Если визирный луч не попадает на рейку, то её смещают влево или вправо. Эти смещения фиксируются по линейке и вводятся в отсчёты по рейке.

В работе [42] для одновременного измерения боковых смещений рельсов и балок предлагается использовать вилкообразную рейку (рис. 17). Она представляет собой обычную рейку 3, на которой при помощи хомута 4 укреплен подвижная Г-образная штанга 2. На хомуте неподвижно укреплена другая рейка 1. Рейку 3 устанавливают в горизонтальное положение с помощью цилиндрического уровня 5. Приведя отсчёты по рейкам 1 и 3 к осям балки и рельса, определяют их смещения относительно створа. По разности смещений оси рельса и оси балки можно также вычислить эксцентриситет (несовпадение этих осей).

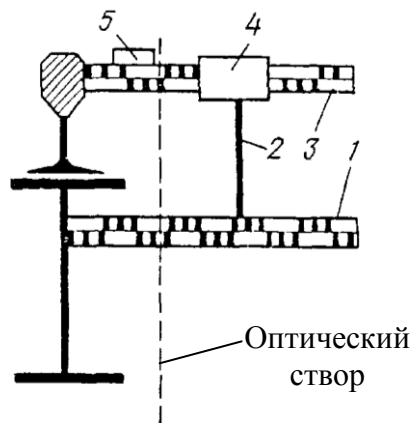


Рис. 17. Вилкообразная рейка

В инженерно-геодезической практике при съёмке протяженных подкрановых путей может возникнуть необходимость определения нестворности промежуточных точек створа, закреплённого двумя конечными точками  $A$  и  $B$ .

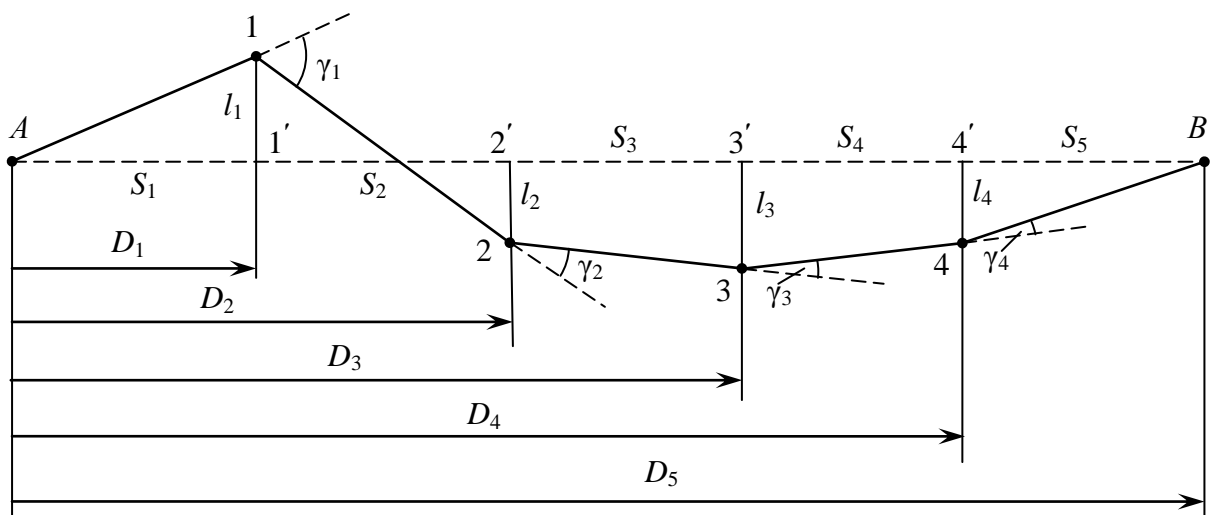


Рис. 18. Схема к определению нестворности промежуточных точек

В работах [9, 11] предлагается величину такой нестворности определять способом биполярной угловой засечки. Способ заключается в определении углов нестворности  $\gamma_i = \beta_i - 180^\circ$ , где левые углы  $\beta_{1,2,3,\dots}$  в промежуточных точках 1, 2, 3, ... измеряют с помощью точного теодолита, визируя на смежные точки. Тогда, для примера на рис. 18, смещения  $l_i$  промежуточных точек можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} l_4 &= \frac{S_5}{D_5} \left( D_4 \frac{\gamma_4}{\rho} + D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} \right), \\ l_3 &= \frac{S_4}{D_4} \left( D_3 \frac{\gamma_3}{\rho} + D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_3 \frac{l_4}{S_4} \right), \\ l_2 &= \frac{S_3}{D_3} \left( D_2 \frac{\gamma_2}{\rho} + D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_2 \frac{l_3}{S_3} \right), \\ l_1 &= \frac{S_2}{D_2} \left( D_1 \frac{\gamma_1}{\rho} + D_1 \frac{l_2}{S_2} \right). \end{aligned} \quad (14)$$

По знаку  $l_i$  судят о направлении смещения точки со створа  $AB$ , где плюс означает смещение влево, минус – вправо.

Оценку точности определения нестворности равноудалённых точек можно производить по приближённой формуле:

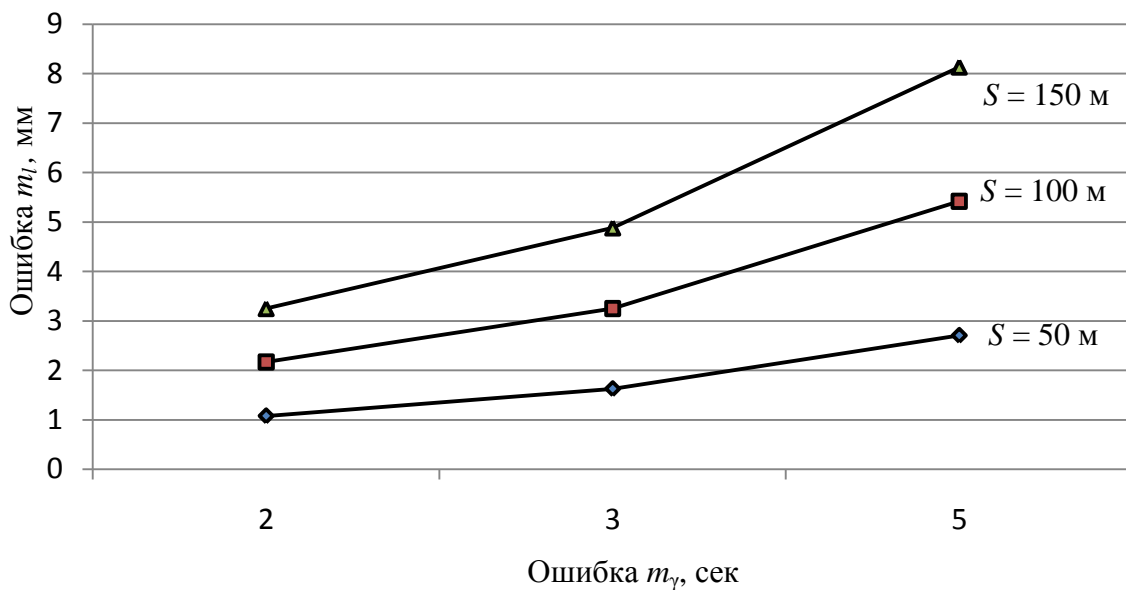
$$m_l = \frac{S m_\gamma \sqrt{nj}}{2\rho}, \quad (15)$$

где  $S$  – расстояние между точками створа;  $m_\gamma$  – СКО определения углов нестворности  $\gamma_i$ ;  $j$  – порядковый номер точки.

Результаты расчётов по формуле (15) при  $S = 50, 100$  и  $150$  м, выполненных применительно к точке 4 схемы на рис. 18, иллюстрируются графиками на рис. 19. Из графиков видно, что при  $m_\gamma = 2''$  ошибка  $m_l$  составляет 1-3 мм, а при  $m_\gamma = 5''$  она равна 3-8 мм.

При контроле прямолинейности может возникнуть задача восстановления направления непросматриваемого створа  $AB$  (рис. 20) с целью приведения результатов периодических измерений к единой системе отсчётов  $l_i \dots l_j$ . Для этого в работе [114] предлагается построить вспомогательный створ  $A_1B_1$ , отстоящий от  $AB$  на расстояниях  $a$  и  $b$ . Кроме того предусмотрена разбивка ещё двух дополнительных створов, один из которых располагается перед препятствием, друзой – за препятствием. В дальнейшем все измерения следует вести от этих дополнительных створов.



Рис. 19. Графики зависимости ошибки  $m_l$  от  $S$  и  $m_\gamma$ 

На наш взгляд можно с успехом ограничиться только одним вспомогательным створом  $A_1B_1$ . Тогда, измерив от этого створа расстояния  $i-i'' = l'_i$  или  $j-j'' = l'_j$ , можно вычислить приведённые к створу  $AB$  отсчёты по формулам:

$$l_i = l'_i - \left[ a - (a - b) \frac{S_i}{S} \right], \quad l_j = l'_j - \left[ a - (a - b) \frac{S_{i,j}}{S} \right], \quad (16)$$

где  $S_i$  – расстояние  $A-i'$ ;  $S_j$  – расстояние  $A-j'$ .

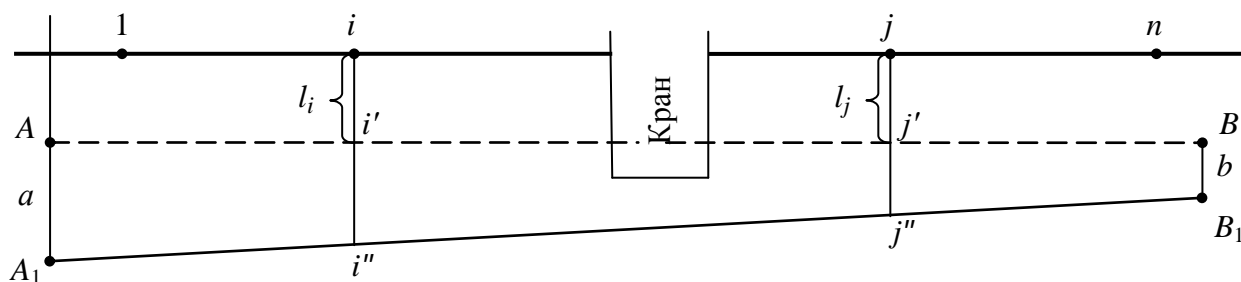


Рис. 20. Схема к восстановлению непросматриваемого створа

Таким образом, произведя боковое нивелирование кранового рельса относительно вспомогательного створа  $A_1B_1$ , можно перейти к единой системе отсчётов относительно фиксированного створа  $AB$ .

В случае отсутствия видимости между опорными пунктами  $AB$  или при ограниченной видимости по створу между контрольными марками, в работе [103] предлагается задавать створ с помощью гиротеодолитов. Измерения выполняются по программам, основанным на методе частных створов. Если гироскопические измерения выполняют в одном непрерывном цикле, то необходимость в эталонировании прибора отпадает и в качестве ориентирующего угла используют гироскопический дирекционный угол.

В работе [80] предлагается устройство для бокового нивелирования рельса, частично или полностью закрытого чем-либо, так что не все его точки видны с места съёмки (рис. 21).

Устройство состоит из трёх реек 1, 2 и 3 с оцифрованными шкалами и самоцентрирующего захвата 4. После ориентирования визирной оси теодолита, устройство последовательно устанавливают на контролируемых точках рельса и по вертикальной нити сетки 5 берут отсчёты  $a$  и  $b$ . Если они равны, то рейка 3 вертикальна и  $l = a = b$ .

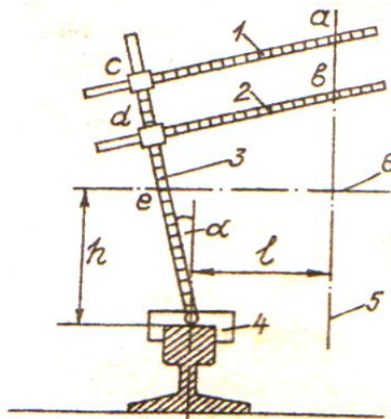


Рис. 21. Устройство для съёмки закрытого рельса

В противном случае  $l$  вычисляют по формуле:

$$l = \frac{a+b}{2} \cos \alpha - \frac{c+d}{2} \sin \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{a-b}{c-d}, \quad h = e \cos \alpha, \quad (17)$$

где  $e$  – отсчёт по рейке 3 по горизонтальной нити сетки нивелира.

Если по конструктивным особенностям или условиям безопасности невозможно установить теодолит на уровне подкрановых путей, то его устанавливают на полу цеха или вблизи дверного или оконного проёма, через который можно наблюдать один из подкрановых рельсов (рис. 22). Визирную ось зрительной трубы ориентируют по направлению примерно параллельному определяемому рельсу [53].

Помощник наблюдателя, перемещаясь на кране, прикладывает рейку к боковой грани рельса в точках  $0, 1, \dots, i, \dots, n$ , обеспечивая её горизонтальность. По рейке берут отсчёты  $a_0, a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$  по вертикальной нити сетки. При больших углах наклона или отсутствии видимости рейки надевают на окуляр зенитную насадку или отсчёты берут по нити отвеса, выставленного в створе визирной оси.

Рейку можно закрепить на раме крана так, чтобы специальный ролик на пятке рейки постоянно контактировал с боковой гранью рельса под действием пружины.

Сравнивают фактические отсчёты  $a_i$  по рейке с их теоретическими значениями:

$$a_i^T = \frac{S_i}{S_n} (a_n - a_0) + a_0, \quad (18)$$



рельсов, то придём к случаю на рис. 3, а, когда створ  $C_1C_2$  располагается внутри рельсового пути. Если теодолит и марка установлены произвольно, то получим схему аналогичную рис. 3, б с расположением створа  $C_1C_2$  между рельсами. Авторы [156, 164] в результате сравнения одностороннего метода с методом четырёхугольника (когда используются два створа, расположенные вблизи рельсов), пришли к выводу, что односторонний метод экономит 25-35% времени.

Другой вариант реализации одностороннего метода предусматривает разбивку на балке крана базиса, конечные точки которого расположены вблизи подкрановых рельсов [115]. От оптического створа измеряют расстояния до оси одного из рельсов и до расположенной вблизи его точки базиса. Также измеряют расстояние от другой точки базиса до оси второго рельса. По этим данным определяют отклонения каждого рельса от прямой линии и ширины колеи от проектного значения в заданных точках съёмки, используя соответствующие формулы к схеме на рис 3.

В работе [151] метод бокового нивелирования обоих рельсов используется для вычисления координат осевых точек рельсов. При этом каждые две противоположные точки должны иметь одинаковую абсциссу, направление которой выбирается параллельно оси пути. По ординатам контролируемых точек судят об искривлении рельсовых осей и о величине ширины колеи.

На практике широкое применение находит закрепление редуцированными знаками высотных и плановых данных для монтажа подкрановых путей (рис. 23) или контроля за их положением в период эксплуатации.

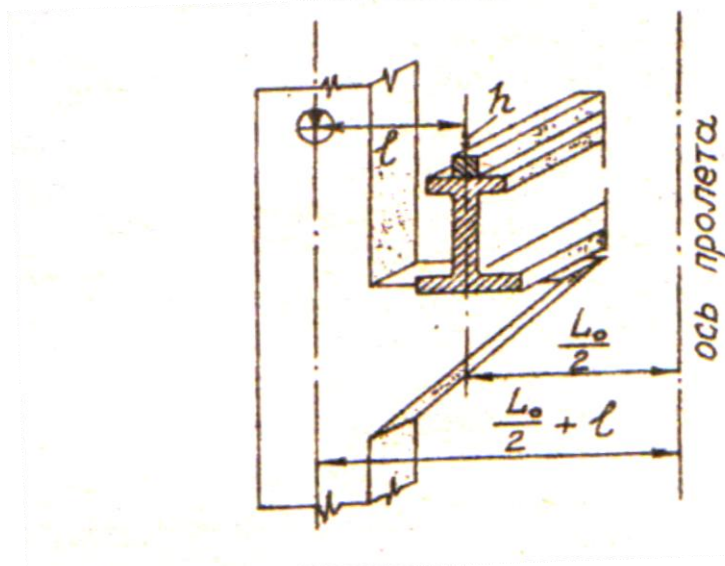


Рис.23. Закрепление постоянной контрольной планово-высотной сети

Такие знаки целесообразно размещать на боковых поверхностях колонн на расстоянии  $l$  от оси рельса, кратном 100 мм, и выше проектной отметки головки рельса на величину  $h = 20-30$  мм. Выносимые знаки закрепляют масляной краской или пристрелкой металлических пластин с нанесёнными на них марками. Они в дальнейшем служат в качестве контрольной планово-высотной сети. Такая сеть позволяет существенно ускорить и упро-

стить контроль положения подкранового пути. Считается, что колонны на уровне подкрановых путей практически неподвижны. В противном случае необходимо учитывать результаты инструментальных наблюдений за их осадками и отклонениями от вертикали.

Для контроля вертикальности колонн можно воспользоваться предложенным нами способом [112]. Сущность способа (рис. 24) заключается в том, что вертикальность колонн проверяется относительно двух взаимно параллельных прямых линий.

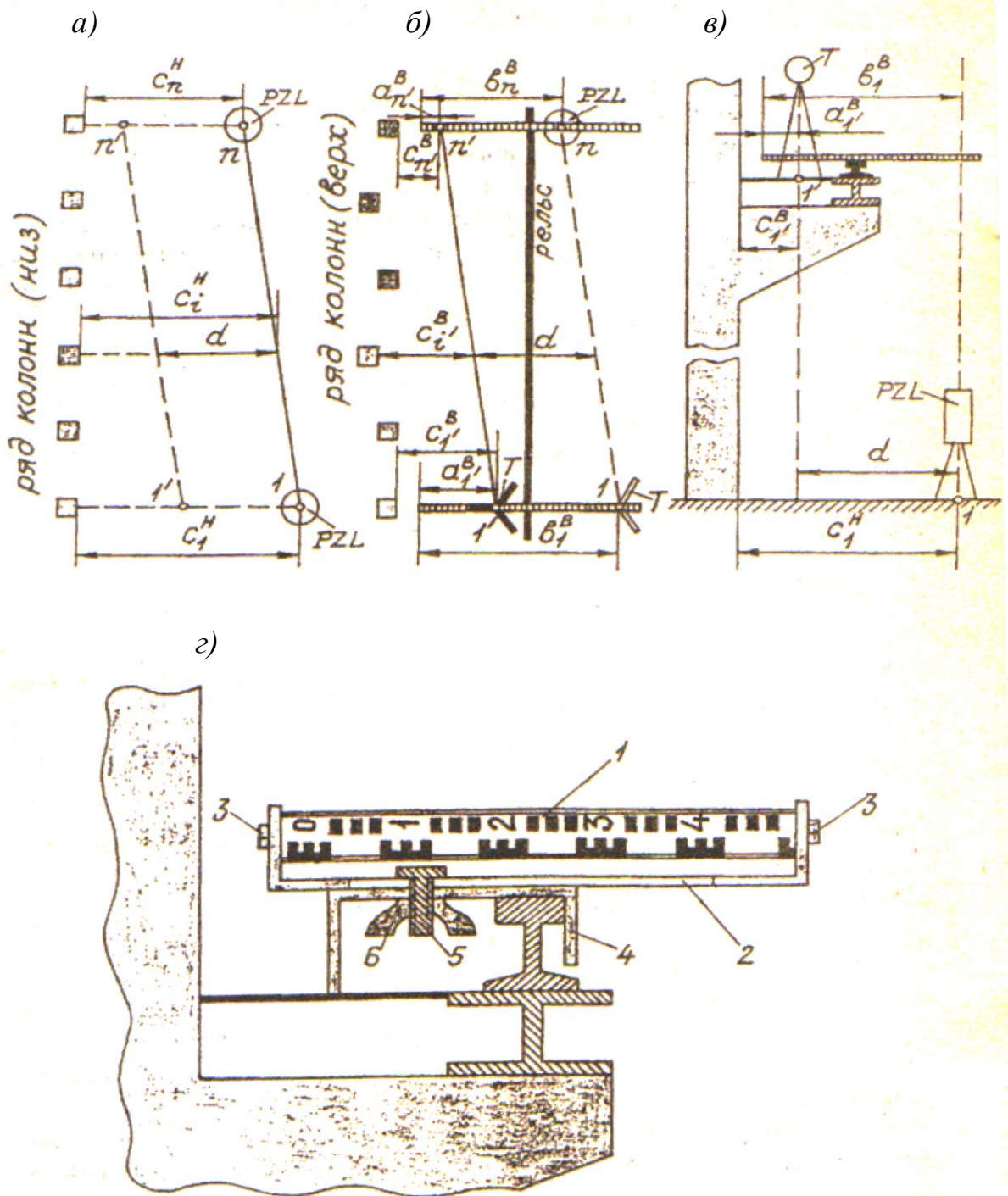


Рис. 24. Схема контроля вертикальности колонн: а – нижний горизонт; б – верхний горизонт; в – вертикальный разрез; г – конструкция устройства

Эти линии направлены вдоль ряда колонн, одна из которых 1-*n* расположена на полу цеха, а другая 1'-*n'* - на уровне подкрановых рельсов на расстоянии *d* от прямой 1-*n*.

Для реализации способа используют теодолит Т, прибор вертикального проектирования *PZL* и специальное устройство (рис. 24, з), содержащее рейку 1, закреплённую в рамке 2 болтами 3 с возможностью вращения вокруг её продольной оси. Рамка 2 крепится ко второй рамке-основанию 4 с помощью болта 5 с барашком 6. Продольный паз в рамке 2 позволяет перемещать её вместе с рейкой 1 в направлении этого паза.

Выбирают на нижнем горизонте две произвольные точки 1 и *n* с соблюдением двух условий: наличие видимости между ними и наличие видимости с обеих точек по вертикали до верхнего горизонта. Над точкой 1 (рис. 24, а, в) устанавливают *PZL*. На верхнем горизонте устанавливают устройство так, чтобы его рейка была горизонтальна, перпендикулярна рельсу и располагалась в центре поля зрения *PZL*. Одновременно в точке 1' над рейкой устанавливают теодолит Т. С помощью визирного луча *PZL* и отвеса теодолита Т берут по рейке отсчёты соответственно  $b_1^B$  и  $a_1^B$ , по которым вычисляют расстояние между параллельными прямыми  $d = b_1^B - a_1^B$ .

После этого на нижнем горизонте переносят *PZL* в точку *n*, а на верхнем горизонте над ним устанавливают устройство. Вновь берут отсчёт  $b_n^B$  по лучу *PZL* и вычисляют отсчёт  $a_n^B = b_n^B - d$ . Затем из точки 1' визируют на этот отсчёт, ориентируя тем самым визирную ось теодолита по направлению 1'-*n'* параллельному 1-*n* на нижнем горизонте. Произведя с помощью теодолита Т боковое нивелирование колонн сначала на верхнем, а затем на нижнем горизонте, получают расстояния  $C_1^B, \dots, C_i^B, \dots, C_n^B$  и  $C_1^H, \dots, C_i^H, \dots, C_n^H$ , по которым вычисляют отклонения колонн от вертикали  $\Delta_i = C_i^B - (C_i^H - d)$ .

Этот способ является универсальным, поскольку он позволяет совместить контроль положения подкрановых рельсов с проверкой вертикальности колонн и содержит элементы как одностворного, так и двухстворного (метод четырёхугольника) способов.

В отличие от бокового нивелирования, другие способы створных измерений предусматривают, во-первых, ориентирование оптического створа по линии, проходящей через начальную и конечную осевые точки контролируемого рельса. Во-вторых, в промежуточных точках рельса устанавливается визирная марка непосредственно на его оси. Для этого марка снабжается различными центрирующими устройствами, в том числе контактирующими с шейкой и подошвой рельса [4].

Теодолит устанавливают в начальной точке съёмки также непосредственно на оси рельса, используя специальные приспособления в виде штативов, подставок, центрировочных столиков, других крепёжных устройств (рис. 7). В конечной точке съёмки устанавливают горизонтально рейку, нулевой штрих которой должен располагаться на оси рельса, что достигается с помощью специальных кареток и других и других центрирующих устройств. Ориентируют визирную ось зрительной трубы теодолита по нулевому штри-

ху рейки. Затем рейку последовательно устанавливают в контролируемых точках рельса и берут по вертикальной нити сетки отсчёты, которые (рис. 3, а) будут характеризовать отклонения оси рельса от прямой линии.

Перемещение рейки (марки-экрана) может осуществляться, во-первых, путём непосредственного её переноса из точки в точку помощником наблюдателя, во-вторых, закреплённую на каретке рейку (марку) можно перемещать по рельсу с помощью трособлочной передачи или с помощью крана, прикрепив каретку к его концевой балке. Наконец, каретка может перемещаться по рельсу автономно по команде с земли (рис. 8, 9).

Вместо рейки для определения отклонений оси рельса от прямой линии возможно использование подвижной визирной марки, перемещающейся вдоль горизонтальной направляющей до совмещения её изображения с вертикальной нитью сетки теодолита. Эти перемещения могут осуществляться вручную с отсчитыванием их по шкале горизонтальной направляющей, или перемещением марки управляют дистанционно с выводом их значений на цифровое табло (рис. 10).

При большой длине цеха прямолинейность оси рельса проверяют по частям (рис. 18), измеряя углы поворота между этими частями и приводя затем результаты частных измерений к единому створу (рис. 20). Другой путь заключается в использовании способа последовательных створов, когда на одном конце створа устанавливают теодолит, а на другом – светящуюся марку. Сориентировав по ней визирную ось зрительной трубы, производят боковое нивелирование, начиная от начальной точки, до максимального расстояния, соответствующего хорошим условиям взятия отсчётов по рейке. Затем теодолит переносят и центрируют непосредственно на последний отсчёт по рейке, ориентируют по светящейся марке и все действия повторяют, и т.д.

Из других способов створных измерений упомянем прибор ПРП для выверки и рихтовки железнодорожных путей, опыт использования которого для подкрановых путей описан в работе [16].

Прибор заслуживает внимание тем, что в нём заключена идея одновременного контроля прямолинейности и горизонтальности рельса, а ломаная зрительная труба удобна для производства наблюдений при высоте визирного луча над рельсом 50 см. Наличие самоцентрирующихся башмаков позволяет устанавливать штанги прибора по оси рельса. Однако точность прибора 3 мм на расстоянии 60 м ограничивает возможность его применения для контроля подкрановых путей.

Ошибка определения непрямолинейности рельсов способом произвольного оптического створа складывается в основном из следующих ошибок: визирования, перефокусировки зрительной трубы теодолита, отсчёта по рейке, делений рейки, фиксации оси рельса. При построении заданного створа сюда добавляются ошибки центрирования теодолита и визирной марки.

Наконец, в работе [113] рассматривается возможность применения приборов с зарядовой связью (ПЗС) для автоматизации струнно-теневого способа створных измерений, сочетающая достоинства струнного и лучевого способов.

### 2.3. Фотографический способ

В работе [69] описана методика использования так называемых фотограмметрических створов. Сущность метода заключается в том, что общий створ  $AB$  (рис. 18) длиной до 500 м разбивается на примерно равные части. Фотографирование производится с моста крана так, чтобы последняя измераемая точка на снимке предыдущего частного створа являлась начальной точкой для последующего частного створа. При этом оптическая ось фотокамеры при съёмке всякий раз ориентируется на последнюю точку  $B$  общего створа. Метод не требует предварительной маркировки оси рельса и даёт наилучшие результаты при длине частного створа около 40 м.

Перспективным способом створных измерений считаем применение цифровых фотокамер, основанное на использовании горизонтальных референтных линий. Здесь достаточно сфотографировать контрольные точки створа, располагая оптическую ось камеры вдоль него. В этом случае линию створа можно использовать в качестве референтной линии, от которой измерять отклонения контрольных точек, используя программы редактирования фотографических изображений.

Так, например, отцентрировав фотоаппарат над осью рельса и сфотографировав рельс по направлению на конечную точку  $n$ , можно сразу от этой референтной линии  $1-n$  определять отклонения рельса от прямой (рис. 25, *a*).

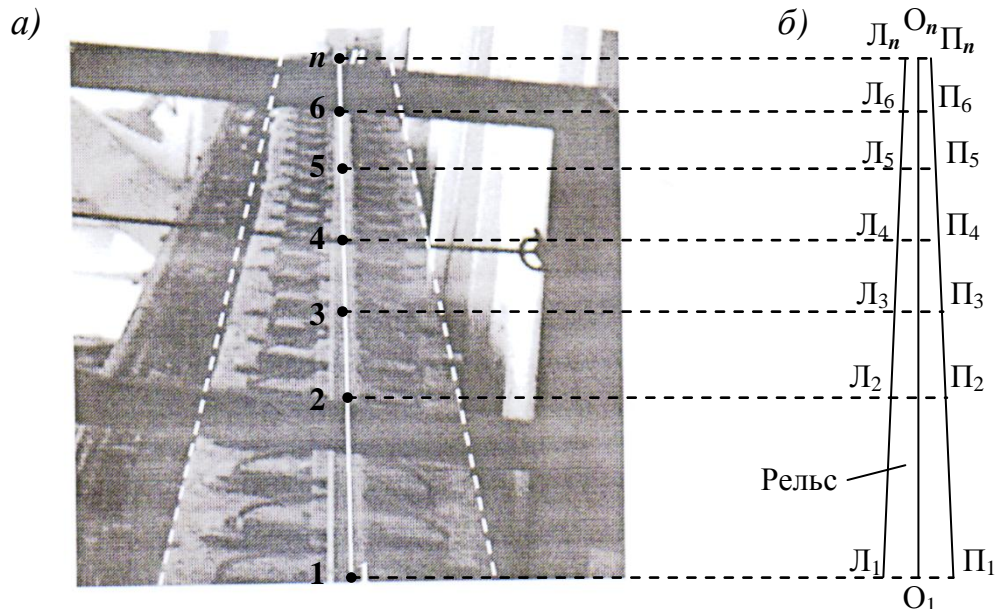


Рис. 25. Фотография рельса с референтной линией  $1-n$  (*a*) и схемой измерения (*б*)

Для этого на снимке необходимо провести через центральные точки рельса  $1$  и  $n$  референтную линию  $1-n$ . Эту фотографию, выведённую на экран монитора, открывают, например, с помощью *Paint*. Подводят курсор последовательно к левому краю рельса, к точкам  $1, 2, 3, \dots$  референтной линии и правому краю рельса и берут отсчёты  $L, O$  и  $P$  в пикселях (пкс), соответ-



вующие каждому положению курсора (рис. 25, б). Результаты измерений и вычислений приведены в табл. 1.

Правильность взятия отсчётов в точках референтной линии можно проконтролировать, построив график (рис. 26).

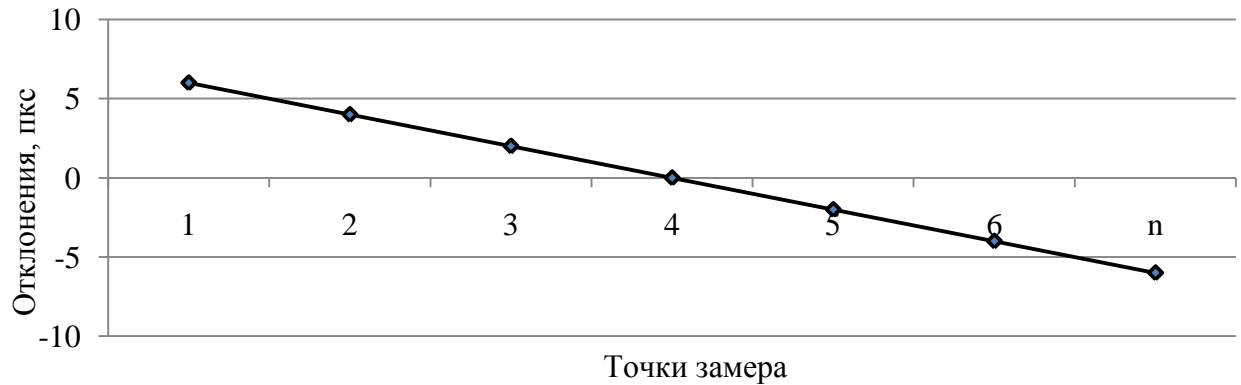


Рис. 26. График расположения точек референтной линии

На этом графике все точки замера должны располагаться на одной прямой. В противном случае в отсчёты по курсору (графа 3, табл. 1) необходимо ввести соответствующие поправки.

Т а б л и ц а 1

**Результаты определения непрямолинейности  
фотографическим способом**

Точки	Отсчёты по курсору, пкс			$\Delta$ , пкс	$l$ , пкс	$\delta$ , мм/пкс	$\Delta$ , мм
	Л	О	П				
1	2	3	4	5	6	7	8
1	820	846	872	0	52	1,923	0
2	828	844	861	-0,5	33	3,030	-1,5
3	830	842	857	-1,5	27	3,704	-5,6
4	829	840	855	-2	26	3,846	-7,7
5	831	838	853	-4	22	4,545	-18,2
6	830	836	849	-3,5	19	5,263	-18,4
n	825	834	843	0	18	5,556	0

По значениям отсчётов (графы 2, 3, 4 табл. 1) вычисляют отклонения  $\Delta$  (графа 5) оси рельса от референтной линии в пикселях:

$$\Delta = O - (L + P)/2, \quad (19)$$

причём, знак плюс означает отклонение влево, знак минус – вправо.

Для перевода подсчитанных по формуле (19) результатов в метрическую систему единиц (мм) необходимо известную длину на снимке поделить на количество пикселей в ней содержащихся. В этом качестве может высту-

пять ширина головки рельса  $\Pi - \text{Л}$  (графа 6). Тогда размер  $\delta$  одного пикселя будет равен:

$$\delta = \frac{l_{\text{мм}}}{l_{\text{пкс}}}. \quad (20)$$

В табл. 1 (графа 7) приведены подсчитанные по формуле (20) значения  $\delta$  при ширине головки рельса  $l = 100$  мм, по которым вычислены отклонения  $\Delta$  в миллиметрах (графа 8), равные произведению  $\delta \times \Delta_{\text{пкс}}$ .

По данным табл. 1 построен график (рис. 27), наглядно иллюстрирующий отклонения оси рельса от референтной линии.

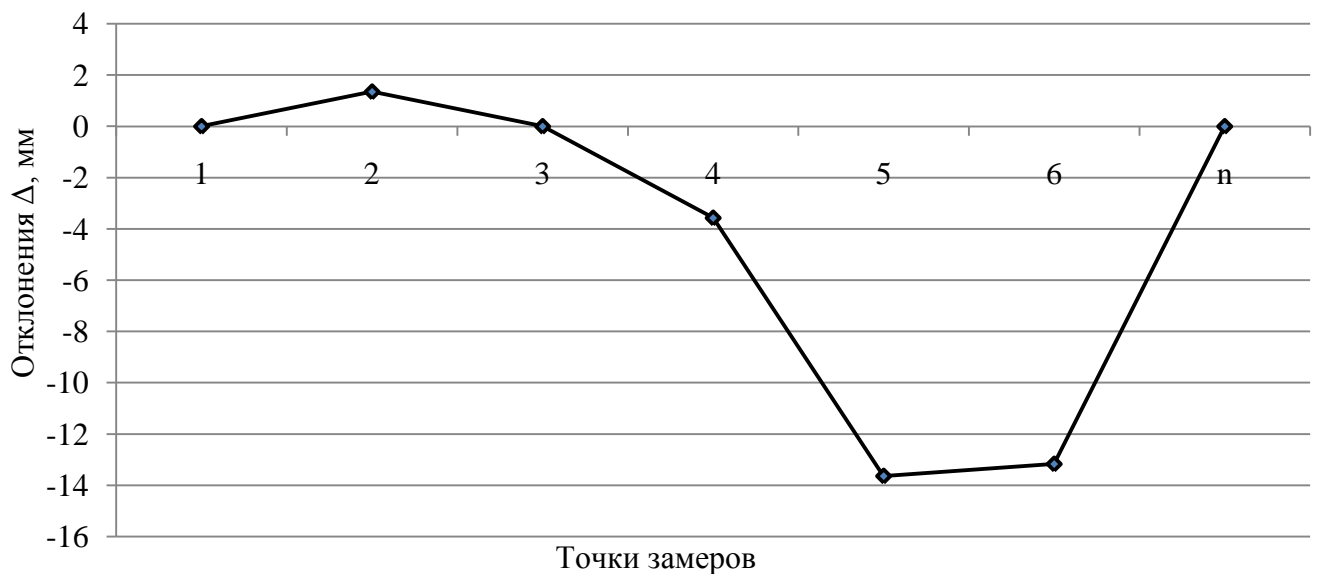


Рис. 27. График отклонений оси рельса от референтной линии

Описанный фотографический способ позволяет сразу визуально определять участки, где имеет место как искривление рельса, так и подкрановой балки (см. рис. 25, а). Причём, чем выше расположена фотокамера над рельсом, тем нагляднее получаемая фотография.

Способ прост в практическом исполнении и последующей камеральной обработке, однако в данном варианте он не лишен ряда недостатков.

Недостатками способа являются, во-первых, зависимость точности взятия отсчётов  $\text{Л}$  и  $\text{П}$  от качества изображения краёв рельса на снимке. Во-вторых, малая величина базиса (ширина головки рельса) существенно сказывается на точности определения размера одного пикселя в метрической системе единиц. И, наконец, затруднено или практически невозможно определение расстояния между точками съёмки.

Избежать этих недостатков призван фотографический способ определения непрямолинейности с использованием горизонтального базиса. Его сущность поясняется рис. 28 и заключается в следующем.

Устанавливают фотокамеру в начальной точке  $\text{O}$  линии. В конечной точке  $\text{K}$  этой линии помещают горизонтальный базис так, чтобы его середина располагалась над этой точкой. Ориентируют фотокамеру, располагая изображение базиса в центре снимка и фотографируют базис. Затем, при не-

подвижном положении фотокамеры, фотографируют базис, устанавливаемый последовательно в точках  $L, M, \dots$  этой линии.

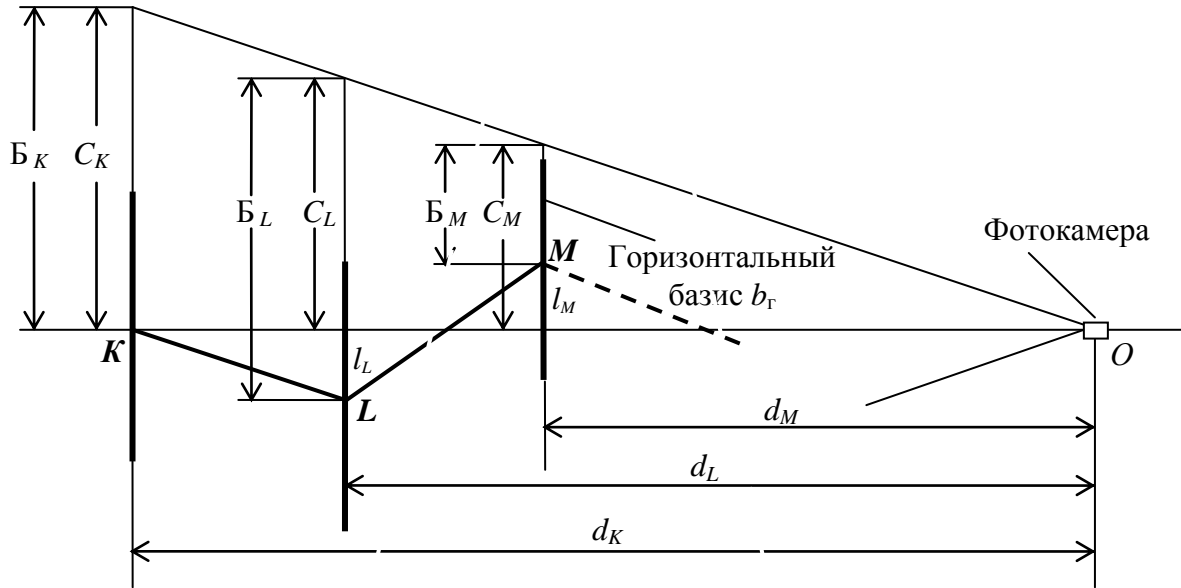


Рис. 28. Схема фотографического способа определения непрямолинейности с использованием горизонтального базиса

Каждую фотографию выводят на экран монитора, открывают файл, например, с помощью *Paint* и, подводя курсор к левому и правому концам базиса, отсчитывают количество пикселей  $\Pi_{K,L,M\dots}$  и  $\mathbb{I}_{K,L,M\dots}$ , соответствующих каждому положению курсора.

Находят количество пикселей соответствующих длине базиса  $\Delta_{K,L,M\dots} = \Pi_{K,L,M\dots} - \mathbb{I}_{K,L,M\dots}$ . По этим данным определяют, во-первых, размер одного пикселя  $\delta_{K,L,M\dots} = b_{\Gamma} / \Delta_{K,L,M\dots}$  соответствующий конкретному расстоянию  $d$  от фотокамеры до рейки. Во-вторых, вычисляют  $C_K = B_K = (\Pi_K + \mathbb{I}_K) / 2$ ,  $B_L = (\Pi_L + \mathbb{I}_L) / 2$ ,  $B_M = (\Pi_M + \mathbb{I}_M) / 2, \dots$  и определяют расстояния  $d_K, d_L, d_M, \dots$

Из схемы на рис. 28 видно, что из подобия треугольников с основаниями  $C_K$  и  $C_L$  вытекает равенство  $C_L = d_L C_K / d_K$ , поэтому отклонение  $l_L$  точки  $L$  от линии  $KO$  можно найти как разность  $l_L = B_L - C_L$ . или, выражая количество пикселей в метрической системе единиц, получим:

$$l_L = \delta_L (\Pi_L + \mathbb{I}_L) / 2 - \delta_K d_L (\Pi_K + \mathbb{I}_K) / 2 d_K. \quad (21)$$

Аналогичным образом можно вычислить отклонение  $l_M$  точки  $M$  от линии  $KO$ , которое в соответствии с рис. 28 будет иметь знак минус:

$$l_M = \delta_M (\Pi_M + \mathbb{I}_M) / 2 - \delta_K d_M (\Pi_K + \mathbb{I}_K) / 2 d_K, \quad (22)$$

и так для всех контролируемых точек.

Для имитации фотографического способа был выполнен контроль прямолинейности одной из полос в коридоре 5 корпуса ННГАСУ. Для этого фотокамера центрировалась над полосой в её начале. Оптическая ось камеры ориентировалась вдоль этой полосы и последовательно при неподвижном положении фотокамеры фотографировали рейку через 5-метровый интервал, однообразно прикладываемую перпендикулярно к полосе.

Затем на каждом снимке определяли количество пикселей  $\Delta$ , приходящихся на длину 1,5-метрового базиса и брали отсчёт, соответствующий положению курсора в центре полосы. Величина  $\Delta$  используется для определения расстояния и размера одного пикселя, с помощью которой отсчёты переводили в метрическую систему единиц и находили разность каждого отсчёта с конечным отсчётом (на 45 м).

Эти разности, характеризующие отклонение линии от прямой в мм, составили соответственно: 0 на 45 м; 2 на 40 м; 4 на 35 м; 3,2 на 30 м; 2 на 25 м; 1,1 на 20 м; 1,5 на 15 м; 1,2 на 10 м и 0,7 на 5 м.

Результаты измерений и обработки снимков в программе *Adobe Photoshop CS6* иллюстрируются графиком на рис. 29.

Результаты проведённого моделирования подтвердили возможность использования фотографического способа контроля планового положения путей мостового крана.

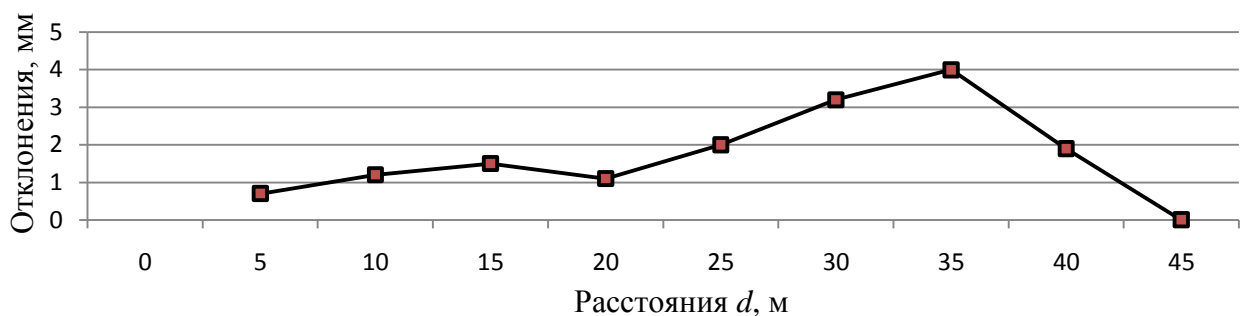


Рис. 29. Результаты контроля прямолинейности

Установлено, что точность измерений в значительной степени зависит от качества снимков. Значительно повысить точность получаемых результатов возможно путём использования снимков более высокого разрешения, для чего необходимо использовать фотоаппараты с более высоким разрешением матрицы.

#### 2.4. Способ измерения углов

Сущность этого способа заключается в том, что в начальной и конечной осевых точках рельса устанавливают теодолит и визирную марку и ориентируют по этому направлению визирную ось зрительной трубы. Устанавливают последовательно ходовую визирную марку по оси рельса в контролируемых его точках и измеряют в угловой мере её отклонения  $\gamma$  от створа.

Зная расстояние  $S$  от теодолита до этих точек, вычисляют в линейной мере их отклонения от створа  $\Delta = Stg\gamma$ . На точность этого способа помимо ошибок, связанных с построением самого створа и фиксации оси рельса, основное влияние оказывает точность измерения углов:

$$m_{\Delta} = \sqrt{m_S^2 \operatorname{tg}^2 \gamma + \frac{S^2}{\cos^2 \gamma} m_{\gamma}^2}, \quad (23)$$

где  $m_S$  и  $m_{\gamma}$  – СКО измерения соответственно расстояний и углов.

Результаты расчётов по формуле (23) при  $S = 50, 100$  и  $150$  м и значениях угла  $\gamma = 1-5'$  иллюстрируются графиками на рис. 30. Из графиков видно, что при  $m_{\gamma} = 2''$  ошибка  $m_{\Delta}$  составляет 3-10 мм, а при  $m_{\gamma} = 5''$  она равна 16-24 мм.

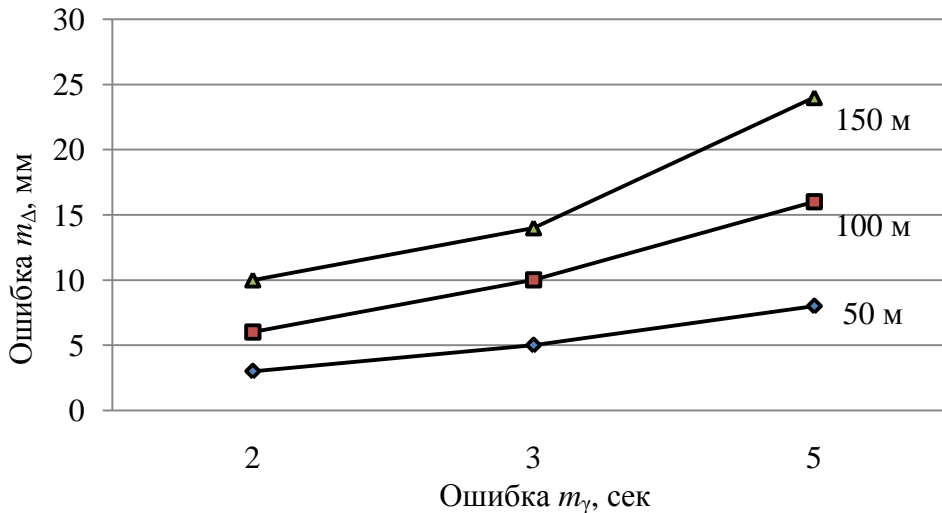


Рис. 30 Графики зависимости ошибки  $m_{\Delta}$  от  $S$  и  $m_{\gamma}$

Вообще говоря, подобный способ створных измерений может осуществляться и в том случае, когда створ задан не начальной и конечной точками оси рельса, а параллельно отнесён на удобное для выполнения измерений расстояние. Об опыте применения такой методики можно прочесть в работе [160]. Здесь в вычисленные значения нестворности необходимо ввести поправку, равную величине параллельного переноса створа. От себя добавим, что способ углов применим и при непараллельном переносе створа  $C_1C_2$  (рис. 3, б). В этом случае следует использовать формулу (4), в которой  $l_i$  вычисляют по измеренному углу и расстоянию до точки  $i$ .

Авторами статьи [75] предложен тригонометрический способ определения боковых отклонений рельсов от створа по данным угловых измерений. Для этого высокоточный теодолит Т (рис. 31) устанавливают на мостовом кране в точке с координатами  $x_T$  и  $y_T$  относительно начальной точки М, которые определяют любым доступным способом. Высота  $h$  теодолита над головкой рельса определяется геометрическим нивелированием при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы теодолита или из триго-

нометрического нивелирования по приведённой в работе методике. Так, величина  $x_T$  может быть измерена непосредственно от точки М, а ординату  $y_T$  авторы определяют из вытянутого треугольника МТК по формулам:

$$y_T = S_M \operatorname{tg} \beta_M, \quad y_T = S_K \operatorname{tg} \beta_K. \quad (24)$$

Однако (рис. 31) в работе не объяснено, каким образом можно получить в натуре линию М'К', параллельную МК для измерения требуемых углов  $\beta_M$  и  $\beta_K$ .

Сам процесс съёмки заключается в том, что на рельсе предварительно в заданных точках  $C_j$  с известной абсциссой устанавливают специальные визирные знаки.

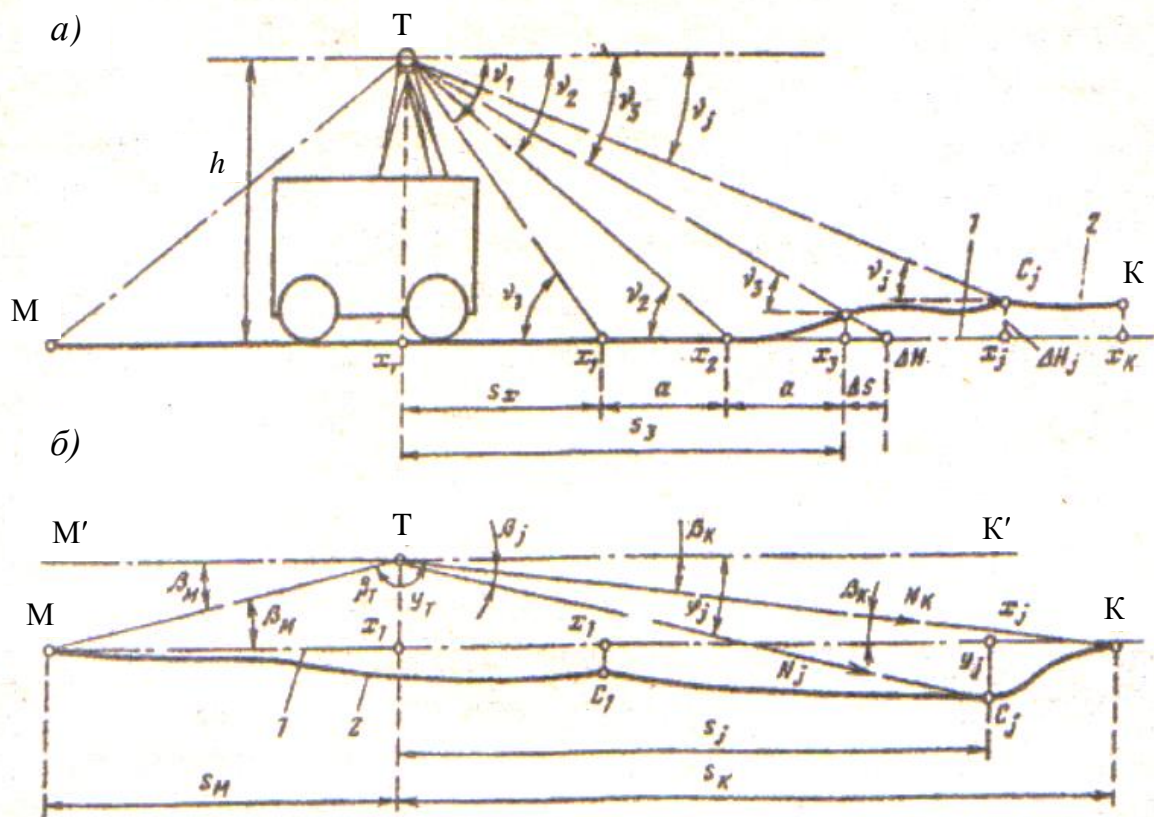


Рис. 31. Тригонометрический способ определения непрямолинейности рельса

Один приём наблюдений теодолитом включает последовательное визирирование на все знаки при двух положениях вертикального круга. При каждом визирировании берут отсчёты по горизонтальному и вертикальному кругу. Ординату  $y_j$  каждой промежуточной точки, расположенной на расстоянии  $S_j = x_j - x_T$  от теодолита, вычисляют по формуле:

$$y_j = S_j \operatorname{tg} \varphi_j - y_T, \quad \text{где } \varphi_j = \beta_K + \beta_j. \quad (25)$$

При  $y_T = 0,5$  м,  $S_M = 10$  м,  $\beta_M = 2,86^\circ$ ,  $m_S = 0,05$  м,  $m_\beta = 5''$  получим  $m_y = 2,5$  мм. Для точки  $C_j$  при  $S_j = 100$  м,  $\varphi_j = 3^\circ$  и  $m_\varphi = 7''$  расчётная СКО  $m_y = 5$  мм.

Если есть возможность установить теодолит в створе точек М и К с точностью 0,5-1,5 мм, то в этом случае точность определения бокового отклонения может быть повышена до 2,8 мм.

Можно определять плановые координаты  $x_j$  и  $y_j$  характерных точек непрямолинейного рельса и без визирных знаков. Для этого теодолит должен быть установлен в створе МК, а точки М и К выбирают на боковине рельсовой головки. Зрительную трубу наводят на точки, выбираемые на головке рельса в соответствии с наблюдаемыми искривлениями, и берут отсчёты по горизонтальному и вертикальному кругу. Затем наблюдения повторяют при втором положении вертикального круга. Плановые координаты точек вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} x_j &= x_T + (b + H_T - H_j) \operatorname{ctg}\nu_j, \\ y_j &= y_T + S_j \operatorname{tg}\beta_j, \end{aligned} \quad (26)$$

где  $S_j = (b + H_T - H_j) \operatorname{ctg}\nu_j$  – горизонтальное расстояние между точками Т и  $j$ ;  $H_T - H_j$  – разность высот рельса в точках Т и  $j$ ;

При  $b = 2$  м,  $S \leq 200$  м,  $\nu = 0,57^\circ$ ,  $\beta = 0,05^\circ$ ,  $m_b = 0,005$  м,  $m_\nu = m_\beta = 5''$  получаем  $m_S \leq 0,5$  м,  $m_y \leq 5,7$  мм. Для створа длиной  $S \leq 100$  м имеем  $m_S \leq 0,25$  м,  $m_y \leq 2,8$  мм.

Тригонометрический способ съёмки подкрановых рельсов применялся авторами на путях длиной 60-200 м, теодолит устанавливался выше рельса на 2,5-5,3 м.

## 2.5. Способ лучевых створов

В этом способе прямая линия является осью ориентированного пучка световых лучей, в частности, осью лазерного пучка. Для этого лазерный створофиксатор (лазерный визир) устанавливают в начале контролируемого участка рельса и ориентируют лазерный пучок по направлению рельсовой нити. Приёмная часть прибора служит для индикации положения лазерного пучка визуальным способом или с помощью специальных фотометрических устройств.

Визуальная фиксация осуществляется по схеме: пучок света – экран. Для этого используют устанавливаемые на рельсе сеточные экраны, марки, рейки, палетки для визуального отсчитывания и регистрации центра лазерного пятна. За такой центр может быть принята точка с наибольшей освещённостью, точка с наименьшей освещённостью или центр геометрической формы лазерного пятна.

Более высокая степень автоматизации отсчитывания и регистрации лазерного пятна может быть достигнута путём передачи сигнала на индика-

торный экран или пульт по схеме: пучок света – фотоприёмник –индикатор.

Плановая съёмка подкрановых путей с использованием лазерного визира ЛВ-1 и визуального способа регистрации результатов была выполнена в 1967 году в котельном цехе Луганской ГРЭС [32]. На точность отсчитывания по марке-экрану большое влияние оказывали конвекционные потоки воздуха, вызывающие колебания светового пятна. Их амплитуда в горизонтальной плоскости на расстоянии 300 м от прибора достигала 10 мм.

Пример использования лазерного визира ЛВ-5М для определения деформаций подкрановых путей Черепетской ГРЭС-19 приведен в работе [104].

Для повышения точности визуального способа регистрации центра лазерного пятна используют упомянутые в разделе 1.5. различные приспособления в виде экрана с автономным фокусирующим устройством или цилиндрической линзой, плоскопараллельную пластинку с непрозрачным вертикальным штрихом и др.

В работе [78] описан способ выверки подкрановых путей с использованием фотографической регистрации лазерного луча (рис. 32).

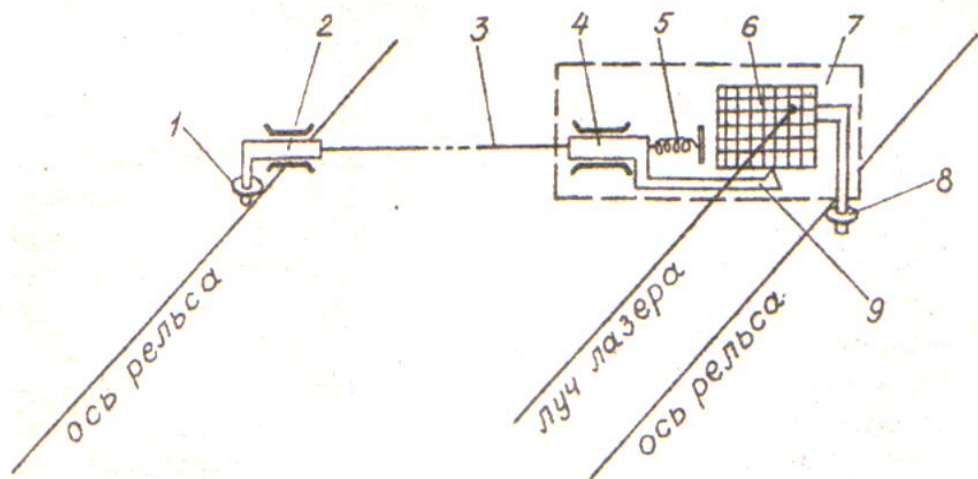


Рис. 32. Схема фотографической регистрации лазерного луча

Для этого на балке крана над одним из рельсов устанавливается регистрирующая камера 7. На передней панели камеры вырезано окно, в котором помещается измерительная сетка 6, соединённая с роликом 8. Ролик 1 через ползунки 2 и 4, скреплённые с тросом 3, соединён с индексом 9. Ролики 1 и 8 под действием пружины 5 плотно прижимаются к внешним граням рельсов, и при движении крана перемещаются вдоль рельсов, фиксируя их взаимное положение. Изменение расстояния между рельсами определяется по индексу 9, перемещающемуся по измерительной сетке 6. При срабатывании затвора камеры измерительная сетка и индекс фотографируются на фотоплёнку, светочувствительный слой которой находится непосредственно за сеткой 6. Зная расстояние между осями рельсов в исходной точке, получают по показаниям индекса 9 значение ширины колеи в других точках подкранового пути.

Если створ рельса задан пучком лазера, то на фотоплёнке вместе с изображением сетки и индекса 9 получится изображение лазерного пятна опре-



делённых размеров. По положению пятна на фоне сетки можно судить о непрямолинейности и негоризонтальности рельса, а также вычислить отклонение другого рельса от линии, параллельной лучу лазера. Для определения негоризонтальности второго рельса необходимо установить над ним вторую камеру.

Перемотка фотоплёнки и срабатывание затвора производится автоматически при движении крана, то есть фиксация результатов измерений производится на движущейся фотоплёнке. Для того, чтобы фотоизображение сетки, индекса и следа лазерного пучка не имели смаза, максимальная скорость движения крана не должна превышать 1,2 м/с при времени экспонирования 0,01 с.

Исследования, проведённые на 90-метровом участке подкранового пути, показали, что СКО определения непараллельности осей рельсов, их отклонений от прямолинейности и горизонтальности составили около 2 мм.

В работе [110] описан прибор для съёмки подкрановых путей, состоящий из фоторегистрирующего устройства в виде прозрачного экрана 6 с сеткой 10x10 мм, фотокамеры «Зенит 3С» и ОКГ ЛГ-56 (рис. 33). При съёмке путей сетку со следом лазерного пятна фотографируют с обратной стороны экрана.

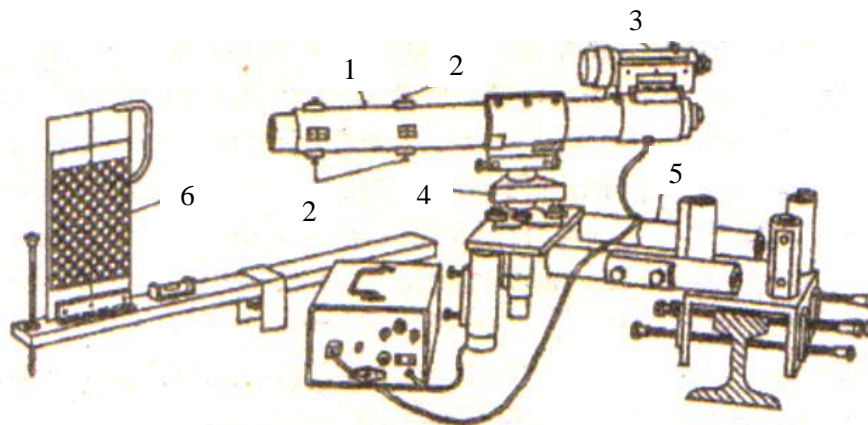


Рис. 33. Прибор на базе нивелира НЗ и лазерной приставки ПЛ-1

В работе [27] описан способ съёмки, основанный на применении лазера и промышленной телевизионной установки ПТУ-2М. Источник излучения устанавливается на одном конце контролируемого рельса, а тележка с маркой-экраном и передатчиком – на другом. Марка-экран представляет собой сетку квадратов со стороной 5 мм, нанесённых простым карандашом на пластине, покрытой светочувствительным слоем сернистого цинка.

В кабине крана устанавливается приёмная телевизионная камера. Луч лазера приводится в горизонтальное положение, направляется вдоль оси рельса, а центр марки совмещают со световым пятном.

Перемещая с помощью крана тележку по рельсу, наблюдатель фиксирует на экране координаты центра светового пятна, которые характеризуют положение рельса в плане и по высоте. Установка ПТУ-2М многоканальная и позволяет одновременно производить съёмку обоих рельсов. В этом случае,

измерив базисы в начале и конце участка, можно вычислить ширину колеи в заданных точках. На 78-метровом участке подкранового пути достигнута точность измерений 2-3 мм.

В КИСИ [45] была разработана технология контроля подкрановых путей с использованием лазерных визиров ЛВ-5М. Их укрепляют на рельсах с помощью специальных штативов. Прямолинейность и горизонтальность каждого рельса определяется с помощью специальных приборов-марок. Каретка с маркой автоматически устанавливается на оси рельса. Горизонтальный луч визира наводят на нулевой штрих прибора-марки. Одновременно перемещают марку по вертикали, совмещая нулевой штрих вертикальной шкалы с геометрическим центром светового пятна. Затем прибор-марку устанавливают на рельсе против каждой колонны и записывают отсчёты по шкалам, которые являются превышениями и отклонениями оси рельса от створа. Аналогичные действия производят на втором рельсе, увязав предварительно исходные точки обоих рельсов в плане и по высоте.

В Харьковском ИСИ сконструирован прибор для контроля планово-высотного положения подкрановых путей [74]. Он базируется на использовании нивелира НЗ и лазерной приставки ПЛ-1 (рис. 33). В трубке 1 помещена лазерная приставка и труба-коллиматор, юстировка которой производится исправительным винтом 2. Основанием прибора служит подставка 4 с тремя подъёмными винтами, которая крепится к столику кронштейна 5 станвым винтом. Экран 6 с сантиметровыми делениями установлен на горизонтальной рейке со шкалой.

Порядок выполнения работ состоит в следующем. На одном из рельсов в конце пути устанавливают прибор, приводят его в рабочее положение и измеряют рулеткой горизонтальное расстояние от лазерного луча до внутренней или внешней грани головки рельса. На этом расстоянии фиксируют ось экрана на горизонтальной рейке и устанавливают экран на другом конце рельса. Рулеткой измеряют расстояние между осями рельсов в начале и конце пути.

Наводят лазерный луч на середину экрана (вертикальную ось) и берут отсчёт по вертикальной шкале. Устанавливают последовательно экран в контролируемых точках и берут по его горизонтальной и вертикальной шкалам отсчёты по световому пятну лазерного пучка. Разности между всеми промежуточными и начальными отсчётами по вертикальной шкале определяют превышения, а по горизонтальной шкале – отклонения в плане.

СКО определения положения центра светового пятна задаётся формулой:  $m = 0,6 \times 10^{-5} \times S$ , где  $S$  – длина контролируемого рельса (например, при  $S = 250$  м,  $m = 1,5$  мм), а общая ошибка определения положения оси рельса 3,5 мм в плане и по высоте включает следующие составляющие: ошибку, обусловленную тепловыми деформациями элементов конструкции прибора (2 мм), ошибку определения центра пятна (1,5 мм), ошибку установки прибора и экрана относительно оси рельса (1,5 мм), ошибку из-за рефракции (2 мм).

Для регистрации оси лазерного излучения, повышения точности измерений и достоверности получаемых результатов за счёт исключения ошибок субъективного характера, разработан целый ряд фотоприёмных устройств (ФПУ). Все они различаются чувствительностью, разрешающей способностью, способом отображения информации, степенью сложности проведения измерений, временем для снятия одного отсчёта и др. Наиболее простыми и обладающими высокой разрешающей способностью, являются ФПУ дифференциального типа со светоделительными элементами, с плоскими двух- или четырёхплощадочными фотодиодами.

Определённый интерес представляет ФПУ дискретного типа [121]. Оно предназначено для регистрации положения лазерного пятна относительно центра фотоприёмной плоскости с отображением информации на табло индикации. Точность фиксирования створа, задаваемого УНЛЗ-У5 составляет 3 мм на 100 м. При фиксации створной линии краями лазерного пятна точность может быть доведена до 0,8 мм на 120 м.

Во Львовском ПИ разработано лазерное устройство (рис. 34) для контроля прямолинейности оборудования [77].

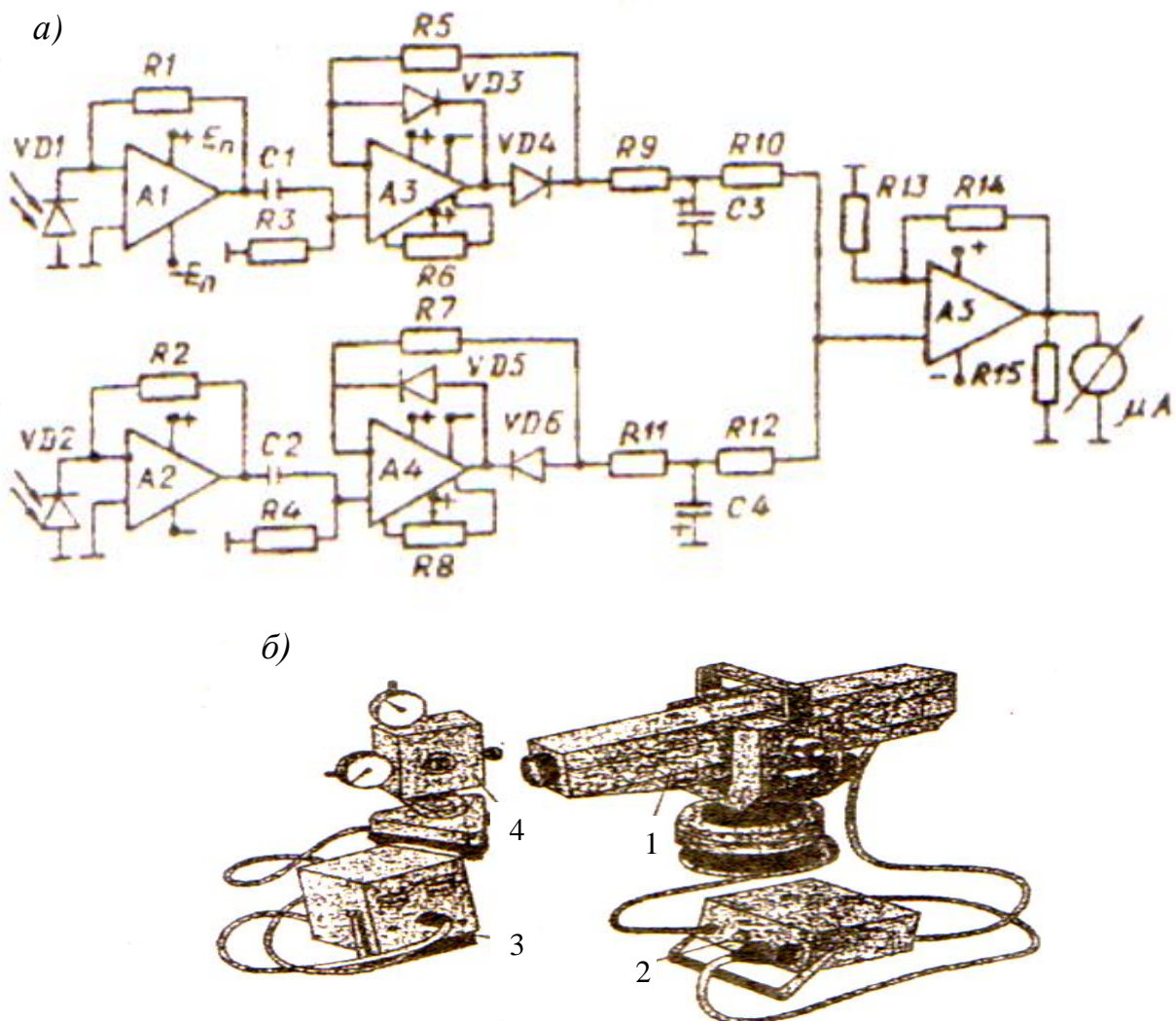


Рис. 34. Электрическая схема ФПУ (а) и внешний вид устройства (б)

Оно включает лазерный излучатель 1, блок питания 2, ФПУ в виде блока обработки и отображения информации фотосигналов 3 и блока фотоприёмников с механизмом перемещения 4.

В качестве излучателя использован лазерный визир ЛВ-78, в котором лазер ЛГ-78 заменён более мощным одномодовым ЛГН-207. ФПУ дифференциального типа работает по принципу нуль-индикатора, поэтому блок фотоприёмников снабжён двухкоординатным механизмом перемещения, на котором установлен квадрантный фотодиод ФДК-142. Для съёмки подкрановых путей блок 4 может быть установлен на горизонтальной и вертикальной направляющих со шкалами миллиметровых делений.

На рис. 34, а представлена схема одного из каналов ФПУ, в которой использованы фотодиоды  $VD1$ ,  $VD2$ , включённые в генераторном режиме. Энергия лазерного пучка преобразуется фотодиодами в переменные электрические сигналы, которые усиливаются операционными усилителями (ОУ)  $A1$ ,  $A2$ . Усиленные сигналы через разделительные ёмкости  $C1$  и  $C2$  поступают в ОУ  $A3$  и  $A4$ , на которых выполнены амплитудные детекторы. Эти сигналы, проходя через  $RC$ -фильтры, суммируются на сопротивлениях нагрузки  $R10$ ,  $R12$ . Суммарный сигнал с учётом полярности поступает на усилитель постоянного тока ОУ  $A5$ , выход которого нагружен на регистрирующий прибор, который может быть выполнен в виде цифрового вольтметра, стрелочного индикатора, пары или нескольких пар светодиодов и др. Работа второго канала аналогична. Разрешающая способность такого ФПУ 0,01 мм при диаметре пятна 1-2 см.

В работе [86] лазерные системы по принципу формирования референтных прямых (в данном случае – лучевых створов) разделены на три группы. Первая группа включает систему, где референтная прямая задаётся регистратором и рефлектором; вторая – референтная прямая задаётся излучателем; третья – референтная прямая задаётся рефлектором. Рассмотрены примеры технических решений каждой из групп.

Косвенные методы определения непрямолинейности подкрановых рельсов будут рассмотрены в главе, посвящённой определению ширины колеи кранового пути.

## **2.6. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана**

Такие определения обычными способами [133, 159] требуют многократного задействования мостового крана и выхода персонала на подкрановый путь.

В нашей работе [135] предлагается способ, лишенный этих недостатков, который позволяет за один проход крана произвести выверку прямолинейности и параллельности обоих крановых рельсов, определить ширину рельсовой колеи и траекторию движения самого крана. Сравнение траектории движения крана с конфигурацией кранового пути позволит специалистам выявлять места возможных в дальнейшем сверхнормативных смещений

рельсов в плане, влияющих на износ ходовых колес и выбрать 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.

Процесс измерений заключается в следующем (рис. 35). 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  $L_L$  от нулевого отсчёта до экрана-отражателя, установленного на оси левого рельса. Затем, повернув зеркало (показано пунктиром), измеряют расстояние  $L_P$  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  $\Lambda$ -образная вилка, а её вертикальность надо контролировать по круглому уровню.

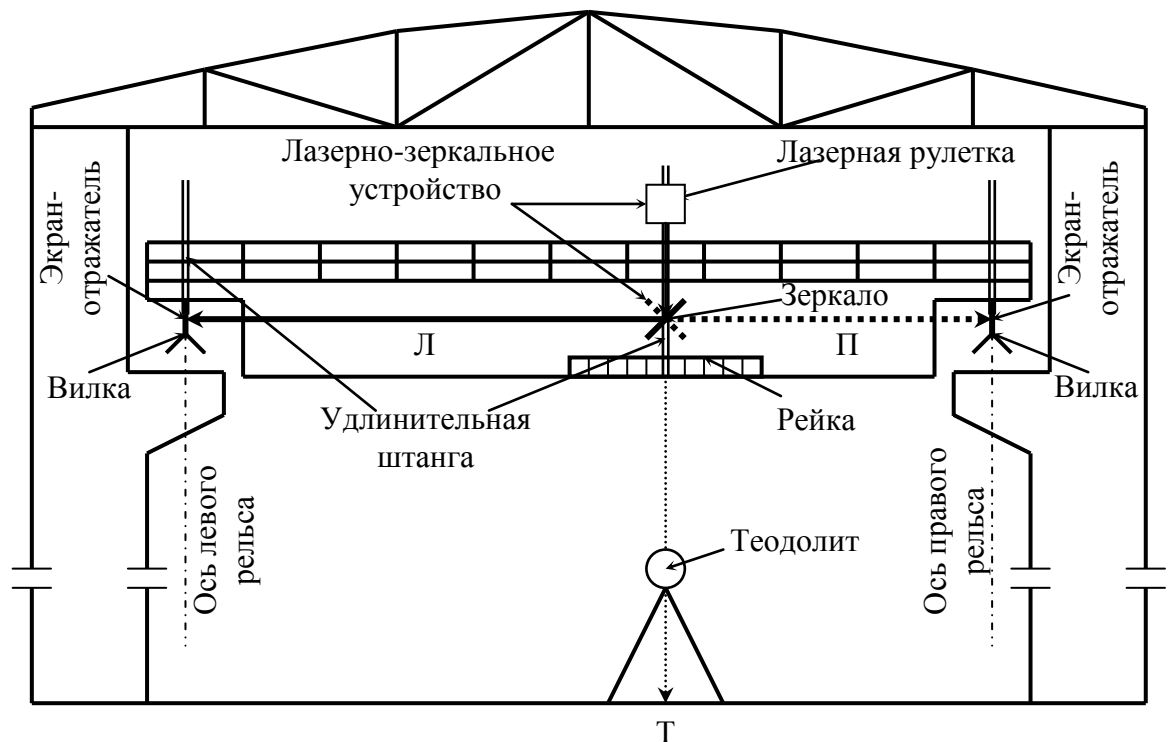


Рис. 35. Схема измерения расстояний лазерно-зеркальным устройством

Затем, перемещая кран, располагают рейку последовательно на осях 1, 2, 3, ...,  $n-1$  и берут отсчёты  $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$ , измеряя одновременно расстояния  $L_1$  и  $P_1, L_2$  и  $P_2, \dots, L_{n-1}$  и  $P_{n-1}$  до экранов-отражателей, устанавливаемых на оси левого и правого рельсов (рис. 36).

Отсчёты  $a_i$  дают возможность определить траекторию движения крана относительно так называемой референтной линии ОТ. Ширина колеи равна сумме расстояний ( $L_i + \Pi_i$ ) до левого и правого экранов-отражателей. Расстояния от референтной линии ОТ до осей левого и правого рельсов характеризуют их отклонения от прямолинейности. Так, для левого рельса эти расстояния равны  $L_0, (L_1 - a_1), (L_2 + a_2), \dots, L_n$ . Для правого рельса они равны  $\Pi_0, (\Pi_1 + a_1), (\Pi_2 - a_2), \dots, \Pi_n$ .

Вообще говоря, можно в предлагаемом способе исключить операцию определения на полу цеха проекции  $N$  нулевого отсчета  $O$  по рейке. Теодолит устанавливают в произвольной точке  $T$  (рис. 37), 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  $\Pi_i$ , беря одновременно отсчёты  $v_1, v_2, \dots, v_n$  по рейке.

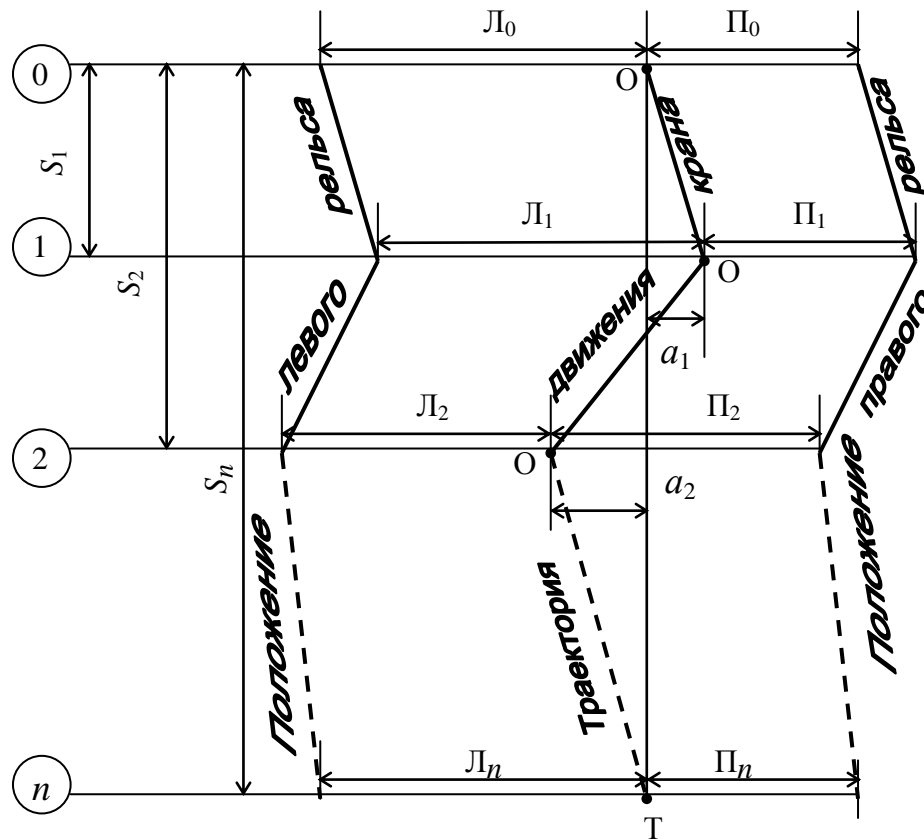


Рис. 36. Схема к определению геометрии кранового пути и траектории движения крана

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:

$$c_i = \vartheta_n S_i / S_n, \quad (27)$$

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  $0, 1, 2, \dots, n$ .

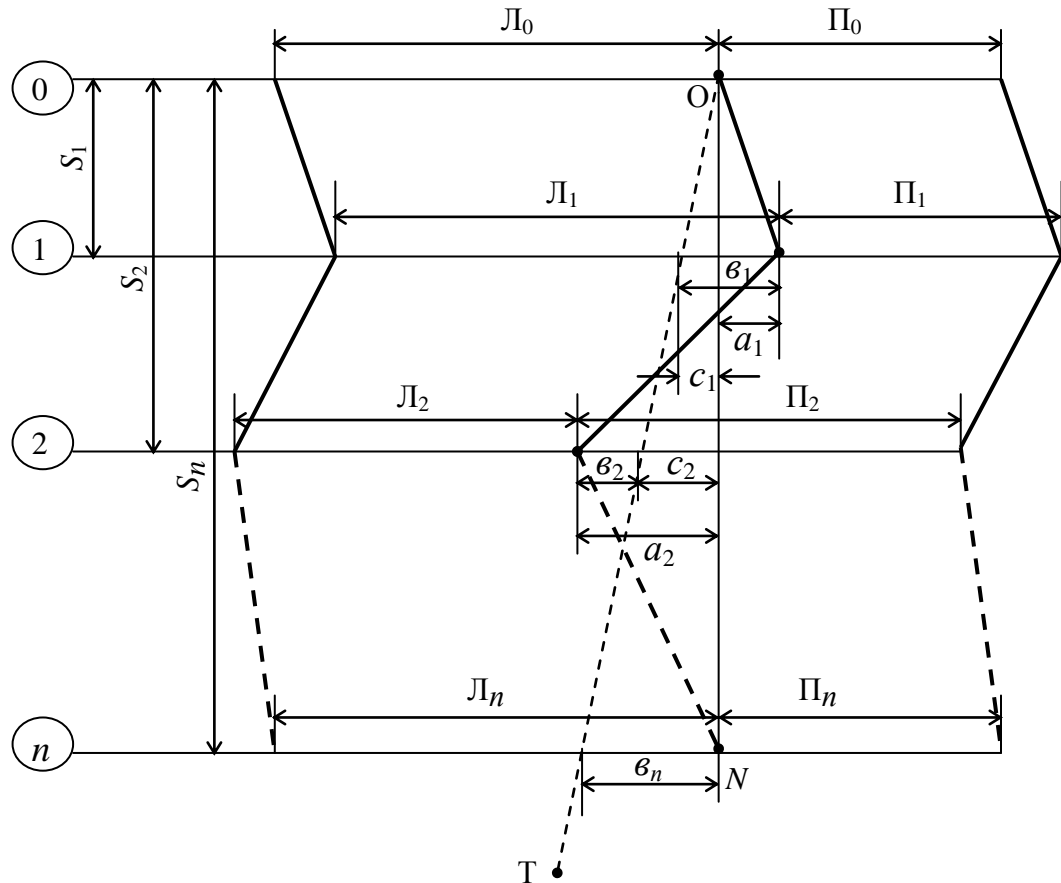


Рис. 37. Схема к определению геометрии кранового пути и траектории движения крана при произвольном расположении референтной линии

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

### Глава 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ КОЛЕИ ПОДКРАНОВОГО ПУТИ

Ширина колеи является одним из наиболее ответственных параметров, так как её сужение или уширение может препятствовать свободному прохождению крана по рельсовому пути, способствовать преждевременному износу реборд ходовых колёс и боковых граней рельсов и быть причиной аварии в результате схода крана с рельсов. Способы измерения ширины колеи подразделяются на непосредственные и косвенные. Каждый из них может вы-

полняются независимо или в сочетании друг с другом, в том числе и с одновременным определением непрямолинейности рельсов.

С целью систематизации способов определения ширины колеи предлагается их классификация, которая не ограничивается только известными способами, а предполагает существование других, пока неизвестных в научном мире. Она призвана ориентировать исследователей в многообразии этих способов с целью выбора оптимальных или разработки новых способов (рис. 38).

Все способы определения ширины колеи можно подразделить на две основные группы: непосредственные и косвенные. Первая группа включает «прямые» измерения, при которых результат получается непосредственно из измерения самой величины. Измерения второй группы основываются на известных зависимостях между искомой величиной и непосредственно измеренными величинами. В результате косвенных измерений получают вычисленное значение искомой величины.

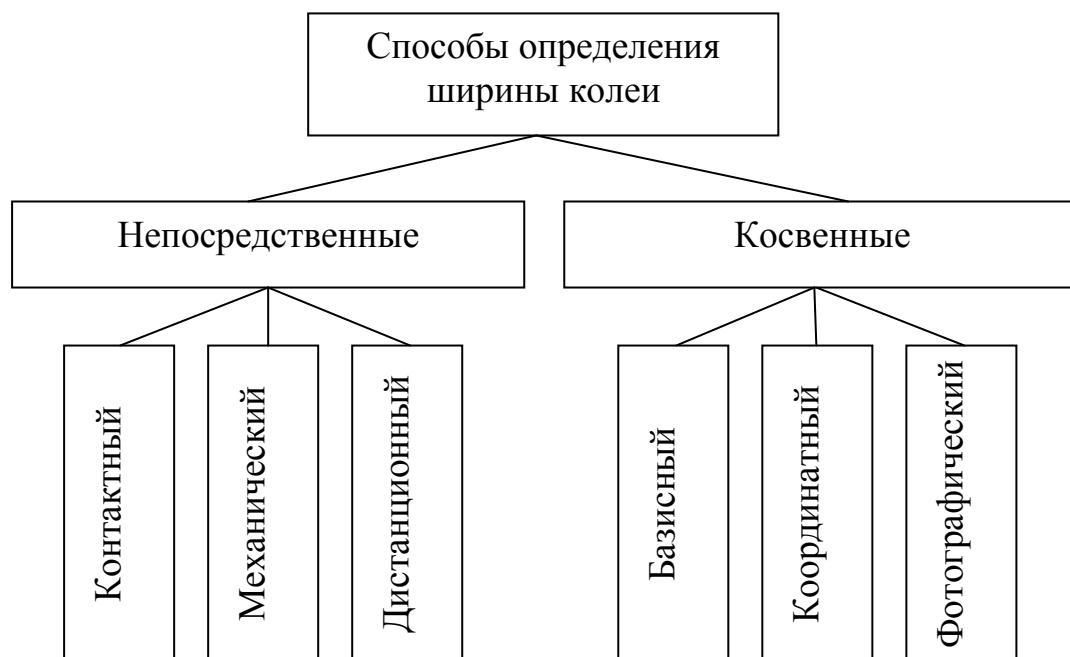


Рис. 38. Классификация способов определения ширины колеи

Каждая из перечисленных групп включает не только способы и средства измерений, но и методику обработки результатов полевых измерений.

Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов регламентируется допуск  $d$  на сужение или уширение ширины колеи равный 15 мм. В разделе 1.4. приведена формула (11) перехода от нормативных допусков  $d$  к средним квадратическим ошибкам  $m$  геодезических измерений в зависимости от величины нормируемого множителя  $t$ , которому соответствует определённая величина вероятности  $p$ . В табл. 2 приведены значения средней квадратической ошибки  $m_t$  определения ширины колеи для различных значений  $t$  при  $d = 15$  мм.



Т а б л и ц а 2

**Соотношение между  $m_l$  и  $t$  при  $d = 15$  мм**

$t$	Вероятность $p$	$m_l$ , мм
1,6	0,890	4
2,0	0,955	3
2,5	0,988	2
3,0	0,997	2

Данные табл. 2 говорят о высоких требованиях к точности геодезических измерений ширины колеи.

**3.1. Способы непосредственного определения ширины колеи**

В терминологии [21] эти способы подразделяются на контактные и механические. Одним из основных недостатков контактных и механических способов измерений ширины колеи является необходимость выхода исполнителей на подкрановый путь. Исключить этот недостаток можно, используя способ дистанционных измерений.

**3.1.1. Контактный способ**

Контактный способ заключается в измерении расстояния между осями рельсов с помощью обычной рулетки, штриховой или шкаловой ленты, проволоки или лазерной рулетки. По сравнению с другими этот способ наиболее простой, однако, его применение возможно, если ширина колеи не превышает длины мерного прибора, а подкрановые пути доступны для измерений.

Осевые точки рельсов, между которыми производятся измерения, либо предварительно намечают керном, либо фиксируют их с помощью различных приспособлений, описанных в работе [133].

В результаты измерений необходимо вводить поправки:

- за компарирование мерного прибора;
- за провес  $\Delta l_f = 8f^2/3L$ , где  $L$  – измеряемая ширина колеи, а  $f$  – стрела провеса для данной ширины колеи.
- за температуру  $\Delta l_t = \alpha L_0 \Delta_t$ , где  $L_0$  – длина мерного прибора при температуре компарирования;  $\alpha$  – коэффициент температурного расширения стали  $1,2 \times 10^{-5}$ , инвара –  $0,5 \times 10^{-6}$ ;  $\Delta_t$  – разность температур при компарировании и измерении.

Расчёты показывают, что при ошибке определения температуры мерного прибора  $2^\circ$ , неточности его натяжения 0,5 кг, ошибки за счёт фиксации осевых точек рельсов и отсчётов по шкалам 1 мм, ошибке компарирования 0,2 мм  $\sqrt{l}$  и ошибке за счёт неперпендикулярности мерного прибора к оси пути 0,2 мм, общая погрешность измерения ширины колеи составит 1,2; 1,5; 1,8 и 2,2 мм для колеи шириной соответственно 10; 20; 30 и 40 м.

Применение лазерных рулеток типа Disto (A2, A3, A5, A6, A8), MM 30/100, LEM, DLE, PD 10, PD 20, HD 150, DLE 50, DM-180 и др. позволяет

значительно упростить и ускорить процесс выполнения непосредственных линейных измерений, в том числе и определение ширины колеи.

Измерения лазерной рулеткой расстояний  $L$  между осями рельсов мостовых кранов может осуществляться по трем схемам. В первой схеме (рис. 39, а) рулетка прикладывается к внутренней грани правого рельса и измеряется расстояние до экрана-отражателя, приложенного к внешней грани левого рельса. Однако здесь на точность измерений может оказывать влияние односторонний износ боковых граней подкрановых рельсов. Избежать этого влияния можно (рис. 39, б), 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. 39, в, г).

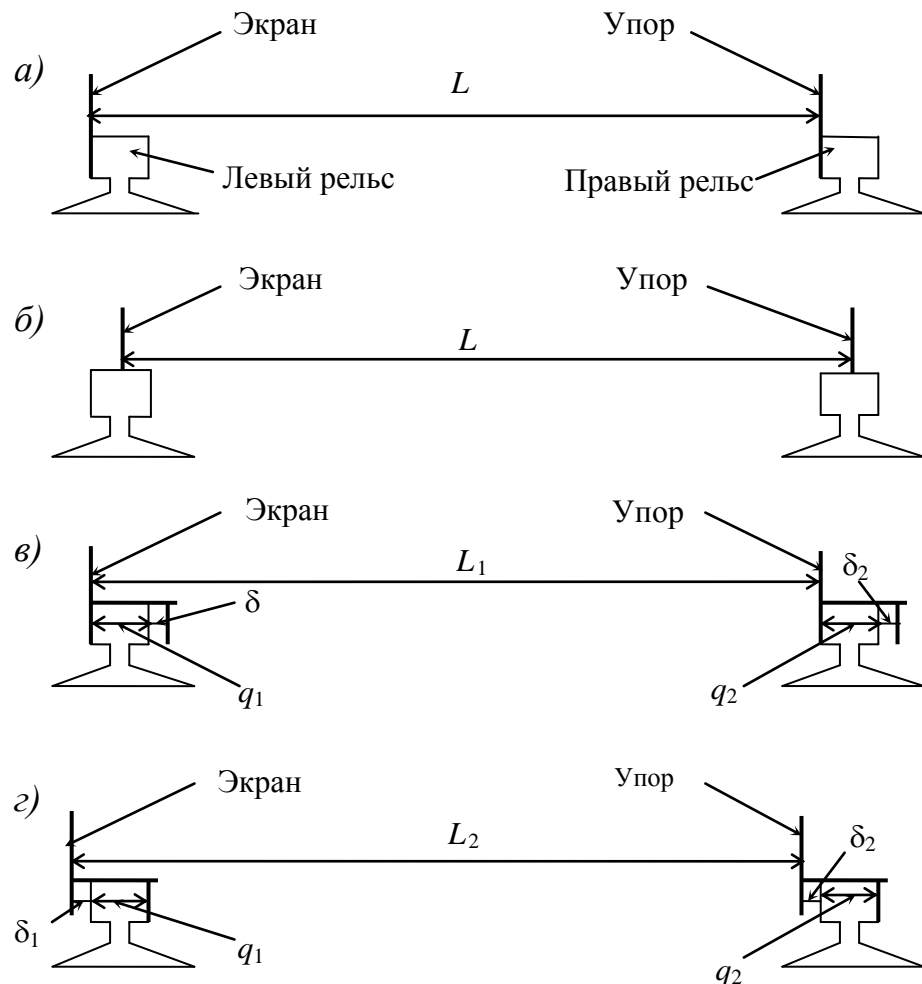


Рис. 39. Схемы измерения расстояний между осями подкрановых рельсов лазерной рулеткой

Расстояние между щёками основания упора и основания экрана одинаковы и превышают ширину головки рельса  $q$  на величину  $\delta$ . Вначале измеряют расстояние  $L_1$ , когда щёки оснований упора и экрана прилегают соот-

ответственно к внутренней грани правого рельса и к внешней грани левого рельса (рис. 39, в). Затем измеряют расстояние  $L_2$ , когда щёки прилегают соответственно к внешней грани правого рельса и к внутренней грани левого рельса (рис. 39, з).

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.

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.

### 3.1.2. Механический способ

Механический способ измерения ширины колеи может быть реализован по-разному. Наиболее простой путь заключается в следующем [55]. На балке крана в непосредственной близости от левого и правого рельсов закрепляются 2 кронштейна 1 (рис. 40, а). К каждому кронштейну специальными струбцинами или винтами 2 прикрепляется обойма 6, которая снабжена стержнем 5 с отверстием 7 и упором 8. Стержень под действием пружины может перемещаться в отверстиях дна и крышки 9, закреплённой на обойме 6 винтами 10. На одном конце стержня имеется стопорное устройство 3 и 4, позволяющее выводить его из соприкосновения с рельсом 11. Обойма 6 имеет продольную прорезь со шкалой миллиметровых делений, в которой размещён отсчётный индекс, закреплённый на стержне в отверстии 7.

В начале рельсового пути измеряют контактным способом расстояние  $B$  между индексами обойм. При этом стержни 5 находятся в соприкосновении с внутренними боковыми гранями рельсов (рис. 40, в). Также измеряют расстояния  $l_0^L$  и  $l_0^P$  от индекса до оси левого и правого рельсов и фиксируют отсчёты  $a_0^L$  и  $a_0^P$  по шкалам обойм против каждого индекса. Ширину колеи вычисляют по формуле:

$$L = B + l_0^L + l_0^P. \quad (28)$$

Выводят с помощью стопорных устройств 3 и 4 стержни 5 из соприкосновения с боковыми гранями рельсов и перемещают кран на заданную величину. Отключают стопорные устройства, в результате чего под действием пружин стержни 5 упрутся в боковые грани рельсов. Берут отсчёты  $a_i^L$  и  $a_i^P$  соответственно по левой и правой шкалам обойм и вновь вычисляют ширину колеи:

$$L_i = B + l_i^L + l_i^P, \quad l_i^L = l_0^L + (a_0^L - a_i^L), \quad l_i^P = l_0^P + (a_0^P - a_i^P). \quad (29)$$

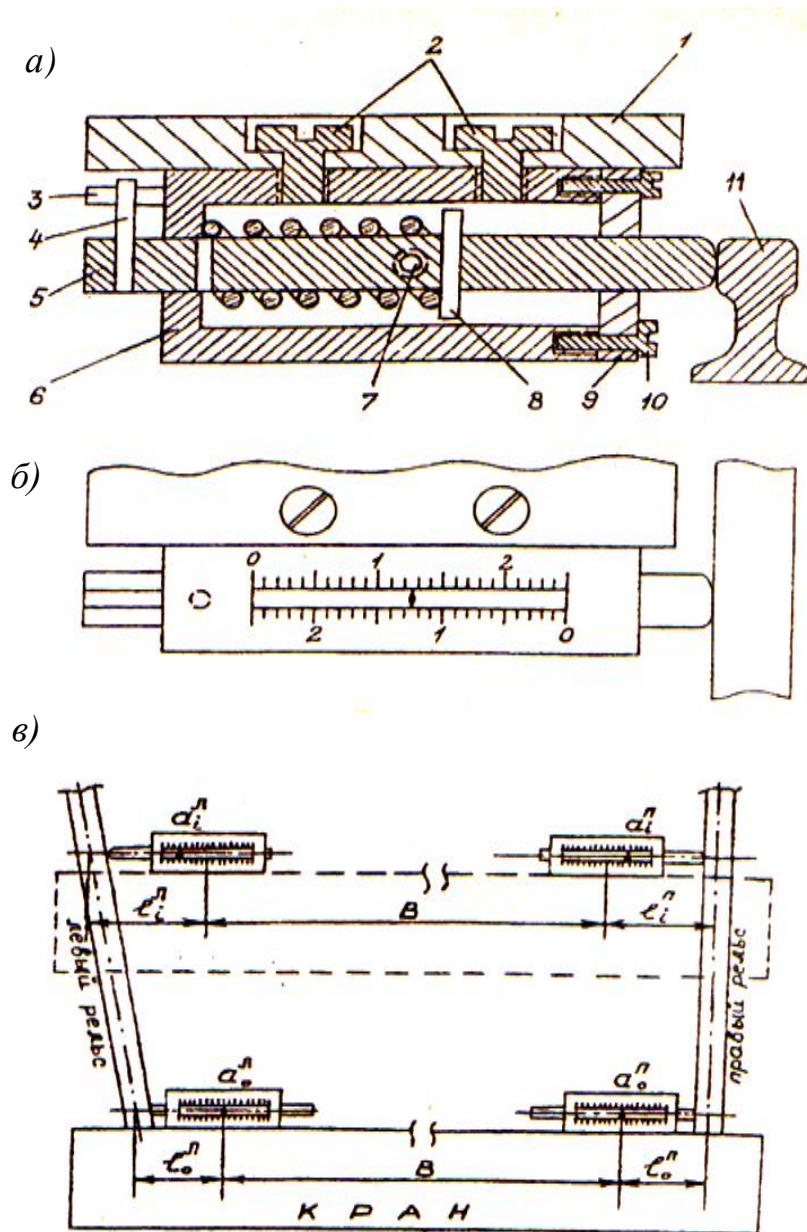


Рис. 40. Приспособление для измерения ширины колеи:  
 а – вид сбоку; б – вид сверху; в – схема измерений

Таким образом, процесс измерения ширины колеи сводится к последовательному перемещению крана в заданные точки съёмки и взятия всего двух отсчётов по шкалам левой и правой обойм.

В работе [21] предложено для измерения относительных отклонений ширины колеи использовать две струбицы, между которыми натянута тонкая стальная проволока. Один конец проволоки жестко крепится к одной струбине, другой её конец с грузом и отсчётным индексом перекинут через блок второй струбины, снабжённой шкалой. Перемещая струбины в заданные точки замера, судят по отсчётам по шкале об относительных изменениях ширины колеи. В работе [117] предложено прикреплять подобное устройство к концевым балкам крана, снабдив струбины роликами, а вместо вертикальной шкалы использовать закреплённый на блочке диск с деления-

ми. Есть также предложение использовать вместо струбцин две дистанционно управляемые каретки (рис. 9) с натянутой между ними проволокой.

В работе [44] предлагается использовать специальные приборы-марки, устанавливаемые на рельсы (рис. 41, *a*).

Такой прибор состоит из направляющих 1, скреплённых с одной стороны планкой 2, с другой – неподвижным упором 3. По направляющим перемещается упор 4 и каретка 5, соединённые между собой трособлочной передачей 6 и 7. Каретка посредством проволоки 8 и пружины 9 в кожухе 10 прижимается к упору 3. На одном конце каретки установлен стержень 11, на котором закреплена линейка 12 с ползунком 13 и индексом 14. К другому концу каретки прикреплена направляющая 15 с подвижной маркой 16 и уровнем 17. Прибор снабжён рукояткой 18.

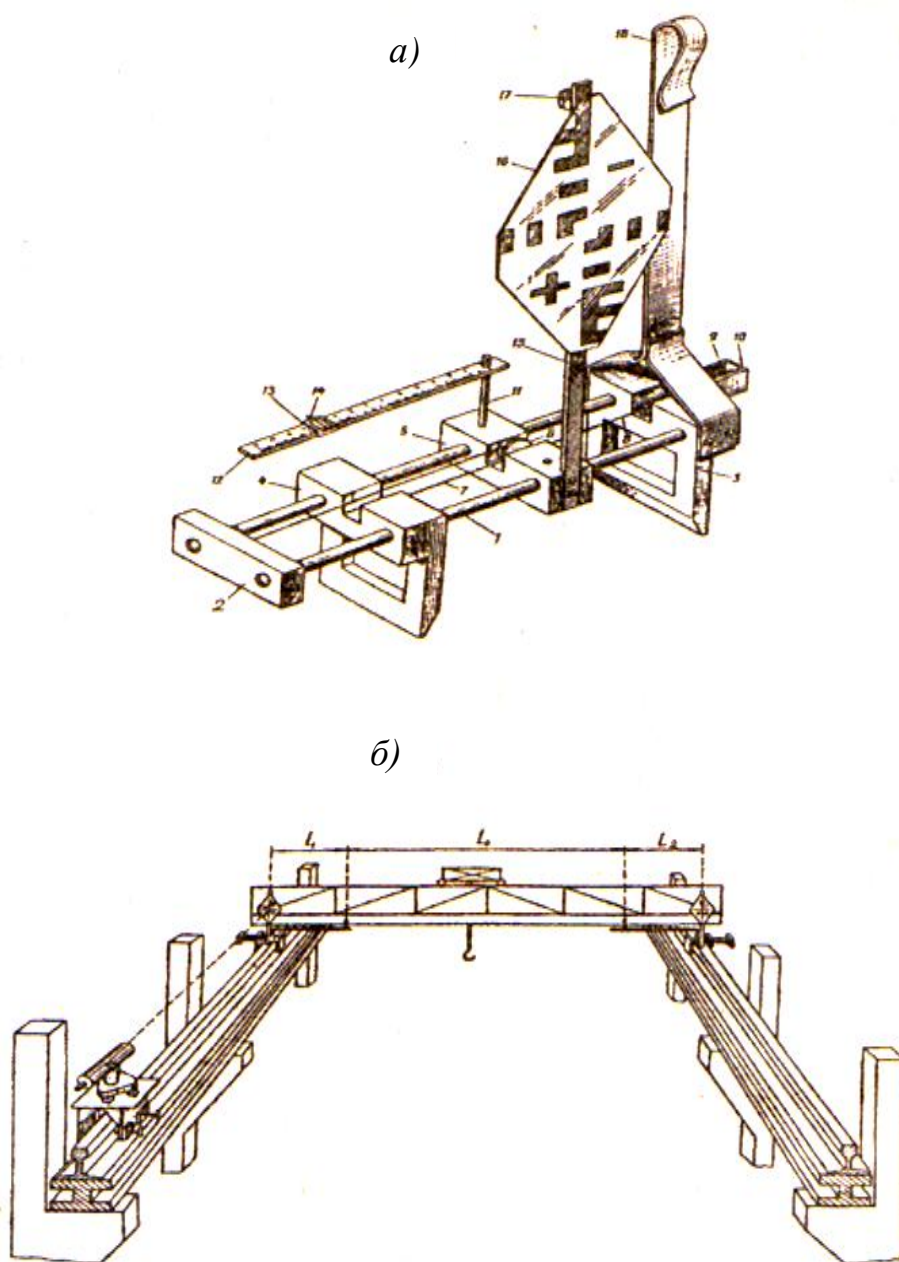


Рис. 41. Прибор-марка (*a*) и схема измерения ширины колеи и непрямолинейности рельсов (*b*)

На балке крана (рис. 41, б) отмечают базис  $L_0$ . На рельсы у крана устанавливают приборы, оси кареток которых автоматически располагаются по осям рельсов. Отсчитывают по линейкам 12 домеры  $l_1$  и  $l_2$  до концов базиса. Ширину колеи в данном сечении вычисляют как сумму базиса и домеров. Перемещая кран, последовательно измеряют ширину колеи в заданных сечениях. Точность измерений составляет 2-4 мм.

Если на противоположном конце рельса установить нивелир, центрировав его над рельсовой осью с помощью отвеса, то одновременно с измерением ширины колеи можно проверить прямолинейность и горизонтальность этого рельса. С этой целью горизонтальную визирную ось ориентируют по марке прибора, перемещая которую вверх-вниз по направляющей 15, добиваются, чтобы перекрестие сетки нитей совпало с пересечением горизонтальной и вертикальной осей марки. При движении крана к наблюдателю производят отсчёты по горизонтальной и вертикальной шкалам марки, фиксируя тем самым отклонения рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Нивелирование второго рельса производится при обратном движении крана, а отклонения оси этого рельса от прямой линии вычисляют по измеренным значениям ширины колеи.

На рис. 42 показано устройство, механизующее процесс измерения расстояния между рельсами. Его основу составляют две вертикальные стойки 1, закрепляемые на рельсах обхватами типа «ножниц», состоящих из скрещивающихся планок 2, 3 и штырей 4.

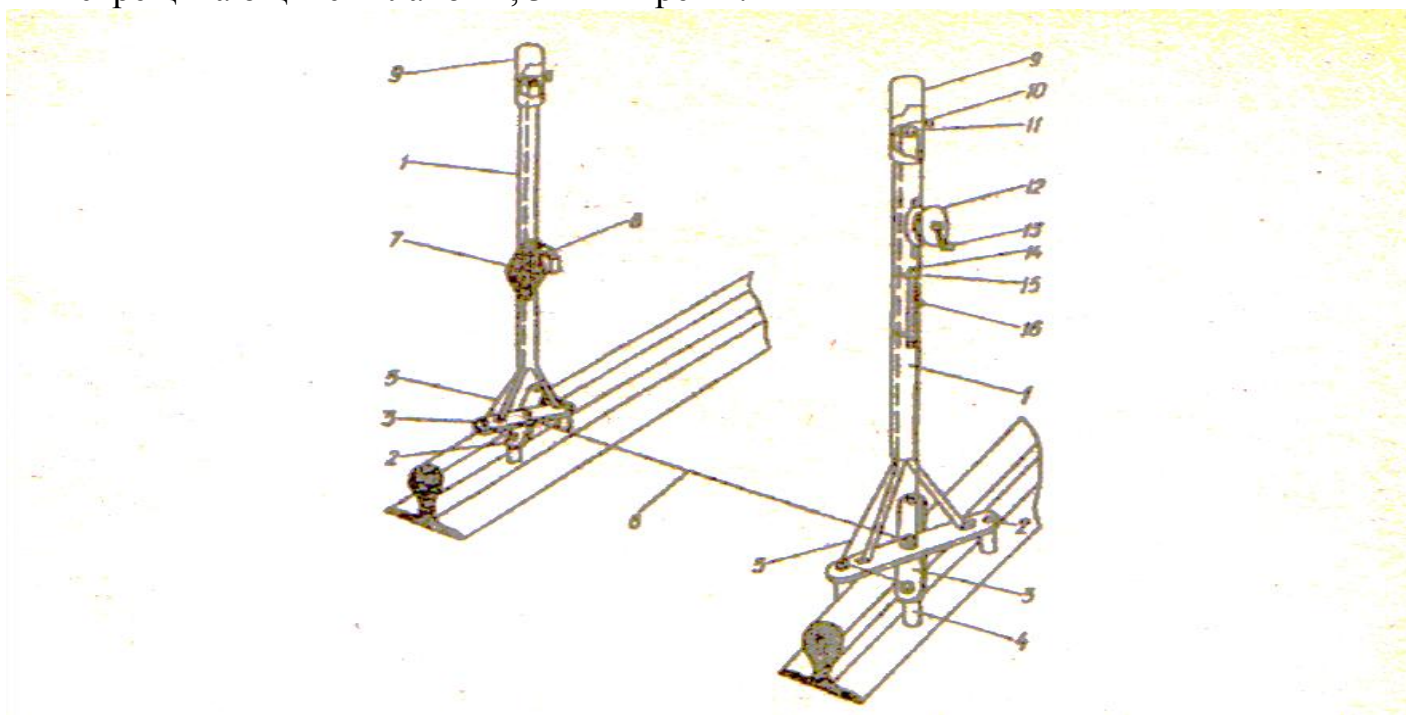


Рис. 42. Устройство для съёмки крановых путей

Стяжка «ножниц» осуществляется тросом 5, соединённым с рукояткой 9 посредством наконечника 10 и ролика 11. На одной стойке закреплён конец мерной проволоки 6, а другой её конец крепится к динамометру 12 с рукояткой 13 на противоположной стойке. На этой стойке имеется шкала 14, при-

креплённая хомутиками 15. Для отсчёта по шкале имеется на проволоке 6 подвижный индекс 16. Перед началом работ устройство тарируют.

Для измерения расстояния между осями рельсов на них устанавливают с крана захваты, нажимают на рукоятки 9, натягивают проволоку 6 вращением ручки 13 и производят отсчёт по шкале 14. Отпускают рукоятки 9, при этом планки захватов разводятся с помощью пружины. Удерживая стойки 1 над рельсами, перемещают кран в следующие точки замера и действия повторяют.

Координатная марка 7 с цилиндрическим уровнем 8 служит для одновременного, с измерением ширины колеи, нивелирования рельса и контроля его прямолинейности.

Для механизации и автоматизации процесса измерения ширины колеи предназначен прибор РО-50, описанный в разделе 1.5. (рис. 11).

Следует сказать, что при реализации ряда механических и других способов измерения ширины колеи, отсчётные узлы и передаточные механизмы специальных приборов и устройств перемещают с помощью мостовых кранов. В этом случае разворот моста крана относительно продольной оси пути может оказать влияние на точность определения его геометрических параметров.

С целью установления фактических погрешностей, обусловленных неправильной траекторией движения мостовых кранов, авторами статьи [93] были выполнены специальные экспериментальные исследования. Они проводились в действующих цехах на подкрановых путях типовых конструкций, предназначенных для работы мостовых кранов грузоподъёмностью от 10 до 80 т. В результате установлено, что предельная погрешность определения ширины колеи подкранового пути, обусловленная неправильной траекторией движения мостового крана, не превышает 0,5 мм.

### 3.1.3. Дистанционный способ

Под «дистанционными» измерениями, согласно БСЭ ( т. 8, 1972, стр. 314), следует понимать «измерение физических величин на расстоянии». Эти измерения применяют в случаях, когда трудно или невозможно измерять с помощью приборов, установленных в непосредственной близости от точки замера.

Основным недостатком большинства контактных и механических способов измерения ширины колеи кранового пути является необходимость выхода наблюдателя на подкрановый путь. Исключить этот недостаток можно, используя способ дистанционных измерений с тормозных площадок крана с помощью предложенного нами [134] лазерно-зеркального устройства (ЛЗУ) (рис. 12).

Измерения ширины колеи с помощью ЛЗУ осуществляются следующим образом (рис. 43). Удлинительные штанги ЛЗУ и экрана-отражателя, имеющие на своих концах вилки, устанавливают на осях подкрановых рельсов, контролируя вертикальность каждой штанги по круглому уровню.

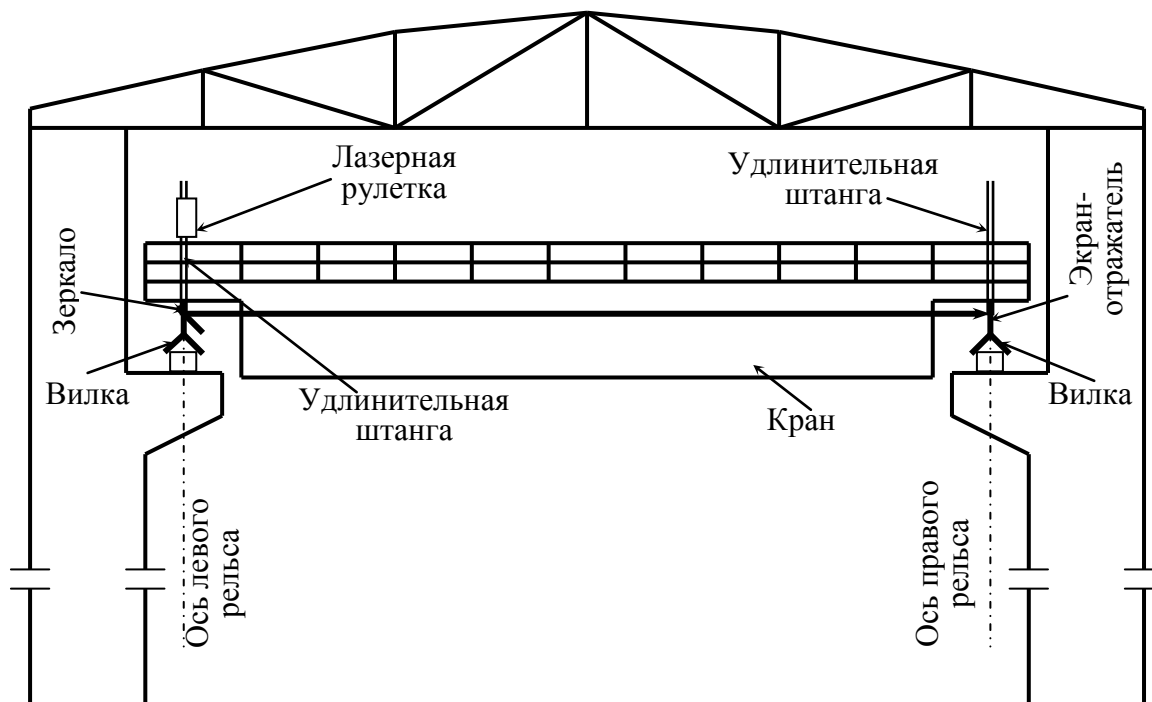


Рис. 43. Схема измерения ширины колеи лазерно-зеркальным устройством

Включают лазерную рулетку, направляют лазерный пучок на экран-отражатель 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).

Результаты лабораторных и производственных испытаний [136] подтвердили возможность использования ЛЗУ для дистанционных измерений с точностью, заявленной в паспорте рулетки 2-3 мм. На данный момент это наиболее удачный из всех известных способ непосредственных измерений не только ширины колеи, но и других недоступных или труднодоступных расстояний.

### 3.2. Способы косвенного определения ширины колеи

Сущность этих способов заключается в том, что из различных линейно-угловых геодезических построений определяют плановые координаты осевых точек рельсов, по которым вычисляют ширину колеи и непрямолинейность рельсов. Если в процессе съёмки получают пространственные координаты осевых точек, то можно осуществить комплексный контроль подкрановых путей в плане и по высоте.



### 3.2.1. Базисный способ

Наиболее распространённым способом косвенных определений ширины колеи является так называемый базисный способ. Его можно подразделить на однобазисный и двухбазисный способы, причём последний носит название «способ четырёхугольника». Все они предусматривают определение координат рельсовых точек прямой угловой, полярной, азимутальной, световой засечками или из различных створных измерений.

В однобазисном способе закрепляют две точки на полу цеха или на уровне подкрановых путей. С этих точек способом круговых приёмов измеряют горизонтальные углы на визирные марки, устанавливаемые на головке рельсов. Приняв направление базиса за ось абсцисс или ординат, вычисляют в условной системе координаты точек рельсовых осей.

Последовательность таких базисов представляет собой ломаную линию (способ «ломаного» базиса). В этом случае измерения производят с каждой точки такой линии, а каждый её прямой отрезок принимается за самостоятельную координатную ось. Следовательно, каждому отрезку «ломаного» базиса будет соответствовать своя условная система координат. Для вычисления ширины колеи это не имеет значения. Но если требуется определить непрямолинейность рельсовых осей, то необходимо перевычисление всех координат в единую систему, о чём достаточно подробно изложено в работе [21].

Если невозможно построить «ломаные» базисы путём непосредственных измерений, то их можно создать способом микротриангуляции в виде цепочки треугольников на полу цеха. Координаты пунктов микротриангуляции вычисляют в условной системе. В той же системе получают координаты точек рельсовых осей, определяя их положение с пунктов микротриангуляции прямыми угловыми или другими засечками. Заметим, что пункты, расположенные вблизи каждой рельсовой нити и формирующие «ломаные» базисы могут быть использованы для створных измерений осевых точек рельсов.

Вариантом однобазисного способа является предложенный в работе [148] полярный метод определения координат осевых точек рельсов, предусматривающий использование электронного тахеометра Рекота и специальной измерительной каретки.

Сущность способа состоит в следующем (рис. 44). На полу цеха выбирают две точки  $A$  и  $B$  с таким расчётом, чтобы они располагались в начале и конце кранового пути и линия  $AB$  была параллельна рельсовому пути.

В условной системе координат полярная ось  $AB$  принимается за ось  $x$ , перпендикулярная ей линия – за ось  $y$ . Измерительная тележка имеет отражатель, который предназначен для определения её планового и высотного положения и он может располагаться горизонтально или вертикально.

Методом полярной пространственной засечки определяют с точки  $A$  прямоугольные координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z$  отражателя тележки, которая последовательно помещается в точки  $1\dots 5$  и  $1'\dots 5'$  подкрановых рельсов. Съёмка дру-

гой части точек производится с точки  $B$ , причём для контроля вновь определяют координаты средних точек  $5$  и  $5'$ . Фактическую ширину колеи  $L_i$  вычисляют по формуле:

$$L_i = y_i - y_{i'} , \quad ( i, i' = 1 \dots n ), \quad (30)$$

и определяют её отклонения от проектного значения  $\Delta_L = L_i - L_0$ .

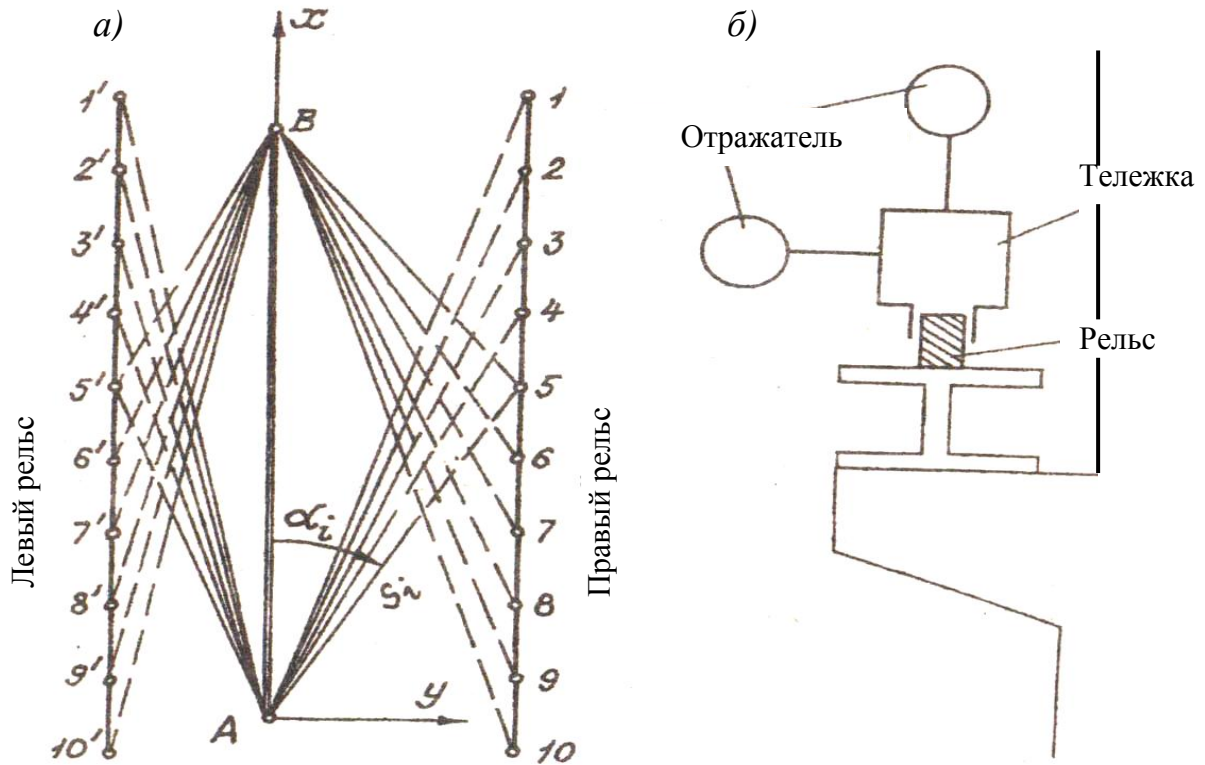


Рис. 44. Однобазисный способ с использованием электронного тахеометра (а) и измерительной тележки (б)

Поскольку линия  $AB$  выбирается параллельно подкрановым рельсам, то их отклонение  $\Delta l$  от прямой вычисляют следующим образом:

$$\Delta l_i^n = y_i - \frac{\sum y_i}{n} , \quad \Delta l_i^n = \Delta L_i + \Delta l_i^n , \quad (31)$$

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

В работе [148] приведены формулы оценки точности получаемых результатов. Так, СКО определения ширины колеи можно вычислить по формуле:

$$m_L = \frac{S}{L} \sqrt{2m_S^2(1 - 2\cos\alpha + \cos^2\alpha) + S^2m_\alpha^2\sin^2\alpha} , \quad (32)$$

где  $S$  – горизонтальное проложение наименьшего измеряемого расстояния;  $m_S$  – СКО измерения расстояний;  $\alpha$  – полярный угол, СКО измерения которого  $m_\alpha$ .

СКО вычисленных отклонений рельсов от прямой линии находят как:

$$m_{\Delta L\Pi} = m_{\Delta L\Pi} = \frac{m_L}{\sqrt{2}}, \quad (33)$$

а точность определения относительных высот можно оценить по формуле:

$$m_H = \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \delta m_S^2 + \frac{S^2}{\sin^4 \delta} m_\delta^2}, \quad (34)$$

где  $\delta$  – зенитный угол, СКО измерения которого  $m_\delta$ .

Наконец, СКО определения разности высот головок подкрановых рельсов равна:

$$m_{\Delta H} = m_H \sqrt{2}. \quad (35)$$

Применение этого метода зависит от длины рельсового пути, ширины его колеи и относительной высоты подкрановых рельсов. Так, например, при  $\delta = 81^\circ$  (90гон) точность определения ширины колеи и относительных высот головок рельсов  $m_L = m_H = 2,5$  мм может быть достигнута: при ширине колеи 10 м – если длина пути не менее 25 м, а относительная высота рельсов не более 1,5 м; при ширине колеи 20 м – соответственно 60 м и 4,7 м; при ширине колеи 30 м – 80 м и 6,3 м; при ширине колеи 40 м – 100 м и 7,9 м.

По мнению автора работы [148] наилучший результат достигается при  $90 < \delta < 110$  гон (1 гон =  $0,9^\circ$ ). Следовательно, основная сложность в реализации данного метода заключается в наличии таких точек А и В, обеспечивающих, помимо перечисленных условий, величину зенитного угла в заданных пределах.

В этом отношении предложение производить съёмку всех точек пути с постоянных пунктов А и В [111] приемлемо лишь в том случае, когда эти пункты расположены на уровне подкрановых рельсов. В противном случае съёмка с пола цеха точек 10, 9, ... и 10', 9', ... со станции А (рис. 44) и точек 1, 2, ... и 1', 2', ... со станции В проблематична.

В том случае, когда линия АВ не параллельна подкрановым рельсам, обработку результатов измерений можно производить следующим образом (рис. 45). Преобразовав полярные координаты  $S_i$  и  $\alpha_i$  всех точек левого и правого рельсов в прямоугольные  $x_i$  и  $y_i$ , вычисляют углы  $\beta$  и  $\beta'$  непараллельности линий, соединяющих начальные 1 и 1' и конечные  $n$  и  $n'$  точки правого и левого рельсов [130]:

$$\beta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\Delta y_{1,n}}{\Delta x_{1,n}}, \quad \beta' = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\Delta y_{1',n'}}{\Delta x_{1',n'}}, \quad (36)$$

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

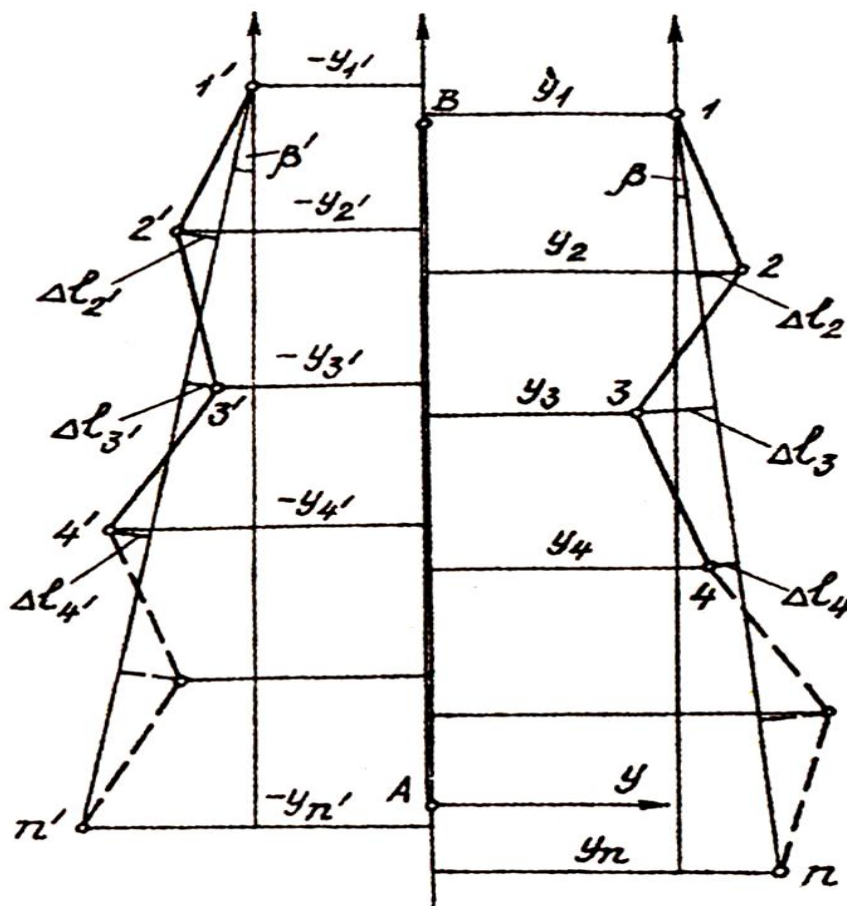


Рис. 45. Схема определения отклонений осевых точек рельсов от референтных линий

В формулах (36) величина  $\Delta x$  всегда положительная, в то время как  $\Delta y$  может быть и положительным, и отрицательным. Следовательно углы  $\beta$  и  $\beta'$  могут иметь знак «плюс», что говорит об отклонении точки  $n$  или  $n'$  влево от линии параллельной  $AB$ , и знак «минус», соответствующий отклонению точки  $n$  или  $n'$  вправо от этой линии.

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

$$\Delta l_i = \Delta y_{1,i} \cos \beta - \Delta x_{1,i} \sin \beta, \quad \Delta l_{i'} = \Delta y_{1',i'} \cos \beta' - \Delta x_{1',i'} \sin \beta', \quad (37)$$

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 (37) необходимо учитывать знаки:  $\Delta x$  (всегда положительный),  $\Delta y$  и  $\beta$ . При этом знак «плюс» у  $\Delta l$  означает отклонение рельса влево от референтной линии, знак «минус» – вправо.

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

$$L_i = \sqrt{\Delta x_{i,i'}^2 + \Delta y_{i,i'}^2}, \quad (38)$$

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

По вычисленным значениям  $\Delta l_i$  и ширине колеи  $L_i$  строят график планового положения подкрановых рельсов.

Другие варианты однобазисного способа косвенного определения ширины колеи предусматривают его разбивку на полу цеха, на уровне подкрановых путей или на балке крана в направлении перпендикулярном подкрановым рельсам. Причём использование лазерного теодолита исключает необходимость предварительной установки визирных целей на подкрановых рельсах. Для этого (рис. 46) на одном конце  $A$  базиса устанавливают лазерный теодолит, а на другом его конце  $B$  – обычный теодолит.

Наводят луч лазера на боковую грань рельса, фиксируя тем самым точку  $i$  и угол  $\alpha_i$ , а другим теодолитом измеряют угол  $\beta_i$  между линией базиса и направлением на лазерное пятно. Затем лазерный луч наводят на точку  $i'$  и измеряют углы  $\alpha_{i'}$  и  $\beta_{i'}$ . При расстояниях 30-50 м до определяемых точек лазерное пятно имеет размеры 3-5 мм и отчётливо видно при любой освещённости.

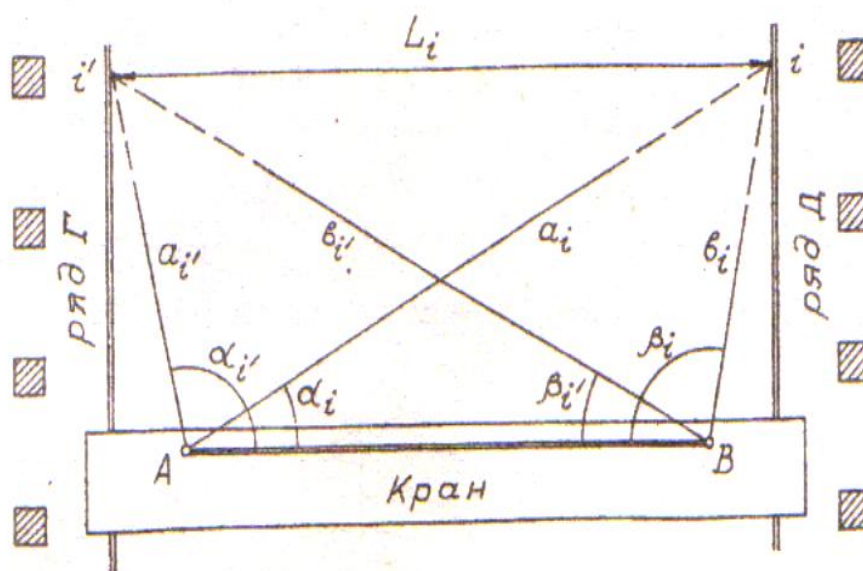


Рис. 46. Определение расстояния между рельсами светуговой засечкой

После измерения 4-6 расстояний кран перемещают в новое положение и измерения продолжают. Сами расстояния между осями рельсов вычисляют как среднее из двух значений:

$$L_i = \sqrt{b_i^2 + b_{i'}^2 - 2b_i b_{i'} \cos(\beta_{i'} - \beta_i) + q}, \quad (39)$$

$$L_i = \sqrt{a_i^2 + a_{i'}^2 - 2a_i a_{i'} \cos(\alpha_{i'} - \alpha_i) + q},$$

где  $q$  – ширина головки рельса;  $a_i, b_i, a_{i'}, b_{i'}$  – длины сторон треугольников, вычисляемые по теореме синусов.

В работе [92] предложен однобазисный способ съёмки подкрановых путей, реализуемый с помощью оптической пентагональной системы УКН. Это устройство контроля неплоскостности предназначено для автоматизации процесса формирования плано-высотной основы (рис. 47).

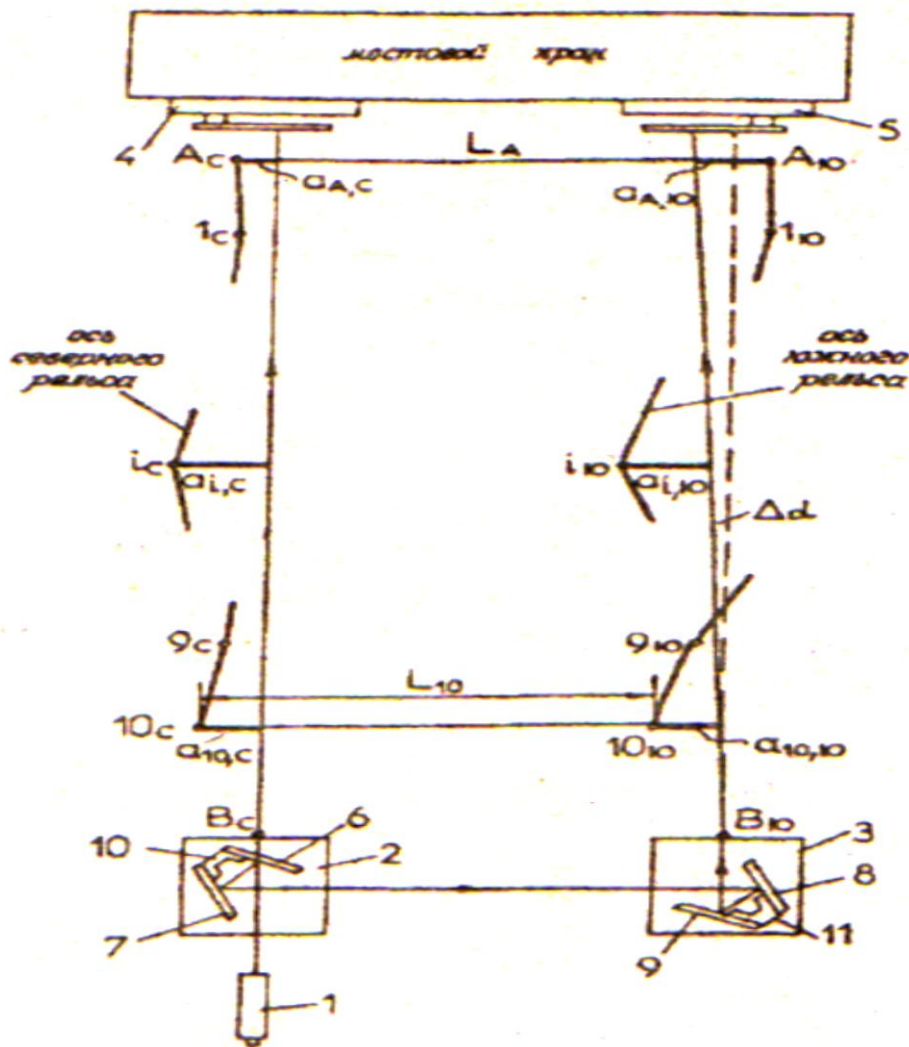


Рис. 47. Съёмка подкранового пути с помощью пентагональной системы

УКН содержит оптический или лазерный нивелир 1, два пентагональных блока 2 и 3 с оптико-механическими компенсаторами и демпфирующей жидкостью и две каретки 4 и 5 с экран-марками, закреплённые на концевых балках мостового крана. Отражатели пентагональных блоков выполнены в виде полупрозрачного зеркала 6 и непрозрачных зеркал 7, 8 и 9, попарно склеенных на гранях стеклянных угольников 10, 11, образующих угол  $45^\circ$ .

Каждый из отражателей подвешен к верхней крышке корпуса блока и соединён со штоком, опущенным в резервуар с демпфирующей жидкостью. Отсчётные узлы УКН выполнены в виде механической следящей системы, перемещение которой осуществляется с помощью мостового крана.

Методика геодезического контроля подкранового пути заключается в том, что каретки 4 и 5 с помощью крана перемещаются последовательно в заданные точки съёмки, и по горизонтальным шкалам экран-марок берут от-

счёты  $a_i$ , а по вертикальным шкалам –  $b_i$ . По отсчётам  $a_i$  судят о прямолинейности подкрановых рельсов, а превышения рельсов вдоль пути и в поперечниках вычисляют по значениям  $b_i$ .

Для вычисления по значениям  $a_i$  ширины колеи необходимо измерить ширину колеи в конце пути (однобазисный способ), либо дополнительно измерить её в начале пути (двухбазисный способ).

При допустимых СКО определения ширины колеи 3 мм и измерения базиса 1,6 мм можно контролировать с помощью УКН участки подкрановых путей длиной до 78 м. При выполнении измерений в прямом и обратном направлениях, длина участка может быть увеличена до 96 м.

Определённый интерес с точки зрения дальнейшего совершенствования может представлять использование в однобазисном способе гиротеодолита [31]. Для этого (рис. 48) на точке  $A$  базиса, разбитого на полу цеха, определяют направление истинного меридиана (оси  $x$ ) и, визируя на марки  $i, j$ , закреплённые на боковой поверхности рельсов, измеряют на них направления  $\alpha_i$  и  $\alpha_j$ .

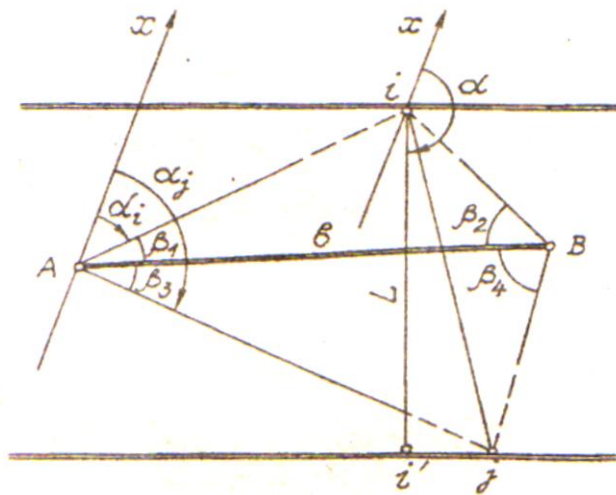


Рис. 48. Контроль ширины колеи с помощью гиротеодолита

Во второй точке базиса  $B$  теодолитом измеряют горизонтальные углы  $\beta_2$  и  $\beta_4$  на те же марки. Зная направление  $\alpha$  нормали  $ii'$  к проекции оси рельсов (известен из проекта), вычисляют ширину колеи по формуле:

$$L = b \left[ \frac{\sin\beta_4}{\sin(\beta_3 + \beta_4)} \cos(\alpha - \alpha_j) - \frac{\sin\beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} \cos(\alpha - \alpha_i) \right] + q. \quad (40)$$

Точность предложенного способа может быть повышена, если с помощью гиротеодолита определять дирекционный угол только базиса  $AB$ , а все остальные углы измерять высокоточным теодолитом.

Из других однобазисных способов следует сказать об определении с наземных пунктов траектории движения крана и отклонений подкранового пути [159]. Для этого двумя электронными тахеометрами, установленными

вблизи рельсов, определяют координаты их осевых точек и одновременно координаты двух точек крана над осями рельсов.

В работе [26] изложен двухбазисный способ определения ширины колеи, получивший в дальнейшем название «способ четырёхугольника». Вершины такого четырёхугольника  $A$  и  $A'$ ,  $B$  и  $B'$  (рис. 49) располагаются вблизи рельсовых осей так, чтобы между ними была видимость, а стороны  $AA'$  и  $BB'$  были перпендикулярны к оси пути.

Сущность способа заключается в том, что по оптическим створам  $AA'$  и  $BB'$  определяют непрямолинейность обоих рельсов методом бокового нивелирования. В начале и конце контролируемого участка измеряют расстояния  $a$  и  $b$  или ширину колеи  $L_1$  и  $L_n$ .

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

$$L_i = a + l_i + l'_i, \quad (41)$$

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

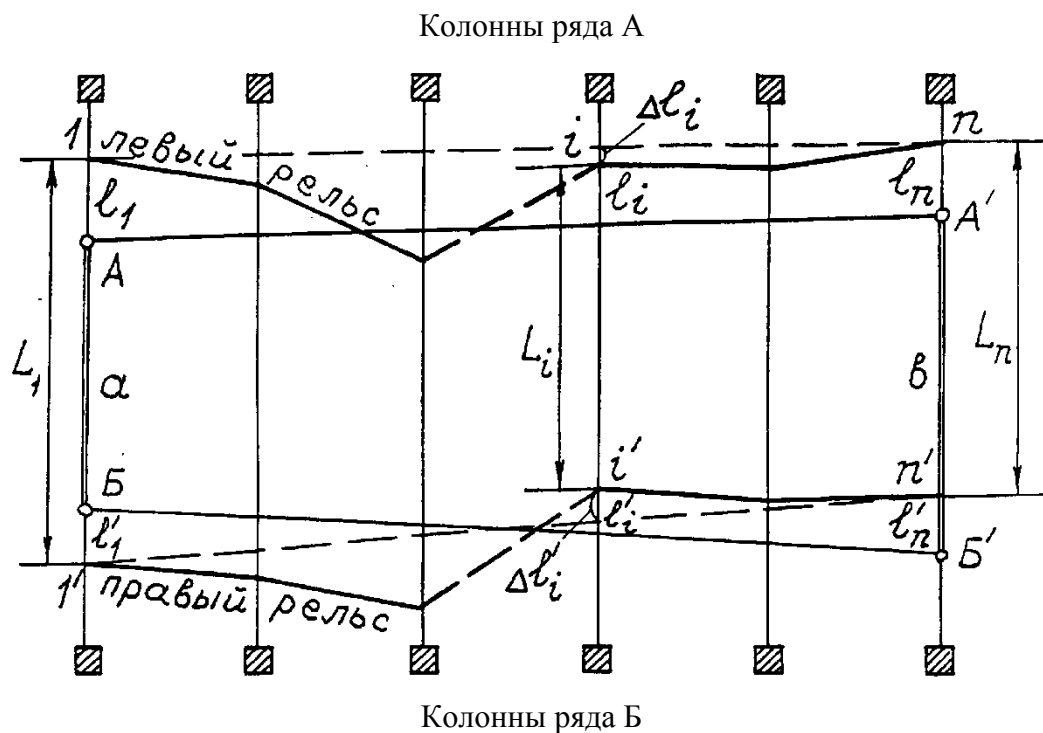


Рис. 49. Схема контроля планового положения подкрановых рельсов по «способу четырёхугольника»

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

$$L_i = a + \frac{i-1}{n-1} (b-a) + l_i + l'_i, \quad (42)$$



а СКО определения ширины колеи при  $m_a = m_b$  и  $m_{l_i} = m_{l'_i} = m_l$  может быть найдена из выражения:

$$m_{L_i}^2 = 2m_l^2 + m_a^2 \left[ \left( \frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2 \right]. \quad (43)$$

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

$$L_i = L_l + \frac{i-1}{n-1} (L_n - L_l) + \Delta l_i + \Delta l'_i, \quad (44)$$

где  $\Delta l_i$  и  $\Delta l'_i$  находят по формулам (4) и (5).

При  $m_{L_i} = m_{L_n} = m_L$  и  $m_{\Delta l_i} = m_{\Delta l'_i} = m_{\Delta l}$  получим:

$$m_{L_i}^2 = 2m_{\Delta l}^2 + m_L^2 \left[ \left( \frac{n-i}{n-1} \right)^2 + \left( \frac{i-1}{n-1} \right)^2 \right], \quad (45)$$

а для  $m_{\Delta l}$  следует использовать выражение (9).

В работе [46] рекомендуется строить лучевые параллельные створы AA' и BB' (рис. 50).

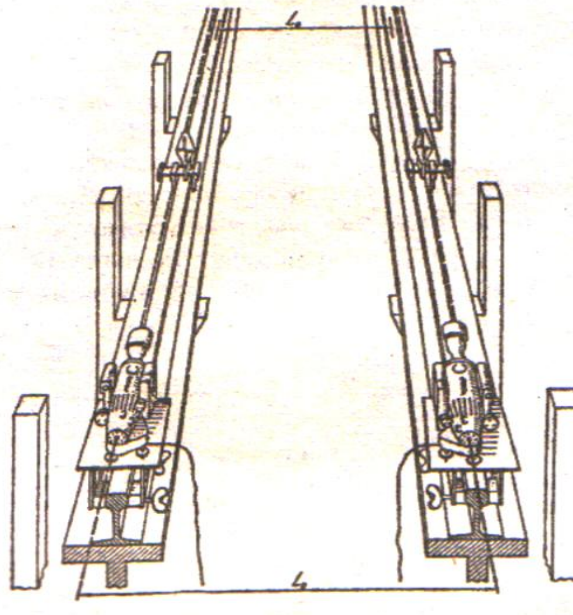


Рис. 50. Создание лучевых параллельных створов с помощью лазерных визиров

Для этого один визир центрируют над осью рельса, а на другом конце пути на рельсы устанавливают приборы-марки и измеряют расстояние  $L_0$  между осями рельсов.

Второй лазерный визир устанавливают на такое же расстояние  $L_0$  между лазерными лучами. После этого горизонтальные лазерные лучи наводят на нули горизонтальных шкал. Перемещая подвижные марки вверх-вниз, совмещают нулевые штрихи вертикальных шкал с геометрическим центром светового пятна.

Последовательно устанавливая приборы-марки на рельсы против каждой колонны, определяют превышения и отклонения осей рельсов от створа. Ширину колеи вычисляют по формуле (53), заменяя в ней  $a$  на  $L_0$ .

Детальным исследованиям двухбазисного способа измерения ширины колеи посвящены работы [119, 120]. В работе [147] предлагается вычисленные по формуле (41) значения ширины колеи  $L_i$  сравнить с непосредственно их измеренными значениями  $L_{i \text{ изм}}$ . Если они различаются между собой на величину  $w_i = L_{i \text{ изм}} - L_i$ , то рекомендуется произвести уравнивательные вычисления путём нахождения коррелятов, поправок к измеренным величинам, а затем произвести оценку точности.

Возможно, с теоретической точки зрения такой подход и представляет некоторый интерес. Но на практике вполне достаточно полученные невязки  $w_i$  распределить с обратным знаком поровну на  $l_i$  и  $l'_i$ . Это подтверждается и рассмотренным в цитируемой работе [147] примером, где для  $n = 9$  получены  $w_i$  в пределах от 1 до 4 мм по модулю, а второе слагаемое в формуле для вычисления коррелятов составило всего 0,09 мм, то есть в 11-44 раза меньше  $w_i$ , в то время как СКО отсчёта по рулетке при измерениях предлагается равной 1 мм.

Во-вторых, если упомянутое выше второе слагаемое будет значительно отличаться от нуля, то это скорее всего будет свидетельствовать об остаточном влиянии систематических ошибок двойных неравноточных наблюдений  $L_i$  и  $L_{i \text{ изм}}$ . С учётом сказанного, обработку таких наблюдений можно произвести следующим образом.

Так, в первом случае на основании (41) имеем  $m_{L_i}^2 = m_a^2 + m_{l_i}^2 + m_{l'_i}^2$ , следовательно, при  $m_a = m_0\sqrt{2}$  и  $m_b = m_{l'_i} = m_0$ , получаем  $m_{L_i} = 2m_0$ . Во втором случае  $m_{L_{i \text{ изм}}} = m_0\sqrt{2}$ , поэтому вес  $L_i$  в два раза меньше веса  $L_{i \text{ изм}}$ , то есть, если принять  $p_{L_{i \text{ изм}}} = 1$ , то  $p_L = 0,5$ , а ошибка единицы веса  $\mu = m_0\sqrt{2}$ .

За окончательное значение искомой ширины колеи  $L_{i \text{ выч}}$  принимается величина:

$$L_{i \text{ выч}} = \frac{0,5L_i + L_{i \text{ изм}}}{1,5}, \quad (46)$$

а СКО её определения равна:

$$m_{L_{i \text{ выч}}} = \frac{\mu}{\sqrt{1,5}} = 1,15m_0. \quad (47)$$

Для оценки влияния систематических ошибок на разности  $w_i$  можно воспользоваться известным критерием допустимости такого влияния  $|\overline{[w]}| \leq 0,25|\overline{[w]}|$ . Это выражение применимо к нашему случаю потому, что несмотря на попарную неравноточность наблюдений  $L_i$  и  $L_{i \text{ изм}}$ , полученные разности  $w_i$  между собой равноточны. Поэтому, исключив из каждой разности систематическую ошибку  $\frac{[w]}{n}$ , можно произвести оценку точности по формуле:

$$m_L = \sqrt{\frac{\left(w_i - \frac{[w]}{n}\right)^2}{2(n-1)}}. \quad (48)$$

### 3.2.2. Координатный способ

Способ, названный координатным, предусматривает использование электронного тахеометра и его специальных измерительных возможностей. Главное преимущество способа по сравнению с существующими состоит в возможности измерения из одной точки стояния прибора только горизонтального проложения, превышения и горизонтального угла на осевые точки рельсов. Этого достаточно, чтобы совместить три отдельных операции: определение ширины колеи, определение непрямолинейности рельсов и их нивелирование. Ниже рассматриваются варианты использования электронного тахеометра для решения этих задач.

В работе [94] предложен простой в исполнении линейно-угловой способ определения ширины колеи, основанный на использовании специальных клавиш *SDh* и ОНР электронного тахеометра *SET530R/R3*. Его сущность поясняется рис. 51 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  $\beta_1$  и  $\beta_{1'}$ ,  $\beta_2$  и  $\beta_{2'}$ ,  $\beta_3$  и  $\beta_{3'}$ , ...,  $\beta_n$  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, при необходимости, 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  $L_{i-i'}$  ширину колеи:

$$L_{i-i'} = L_i + L_{i'} = D_i \sin \beta_i + D_{i'} \sin \beta_{i'}, \quad (49)$$

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

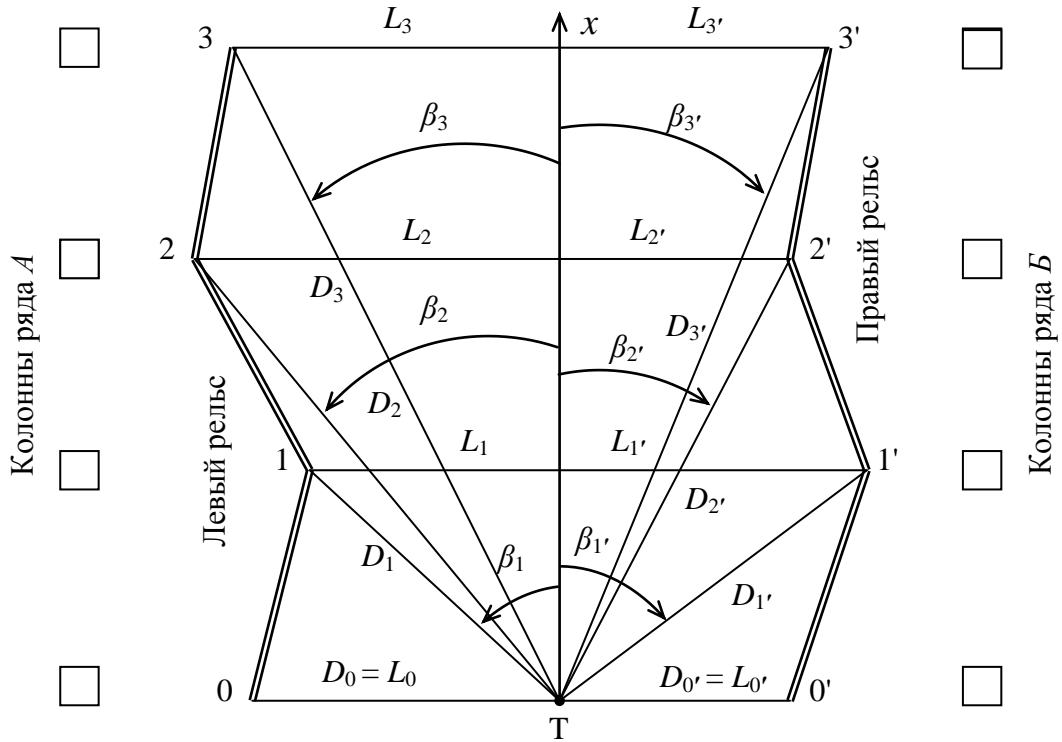


Рис. 51. Схема линейно-углового способа измерений ширины колеи с использованием клавиши  $SDh$

В общем виде среднюю квадратическую ошибку  $m_L$  определения ширины колеи по формуле (49) найдём используя известную из теории ошибок формулу ошибки функции общего вида:

$$m_L^2 = \sin^2 \beta_i m_{D_i}^2 + \sin^2 \beta_{i'} m_{D_{i'}}^2 + \frac{D_i^2 \cos^2 \beta_i}{\rho^2} m_{\beta_i}^2 + \frac{D_{i'}^2 \cos^2 \beta_{i'}}{\rho^2} m_{\beta_{i'}}^2, \quad (50)$$

где  $m_{D_i}$ ,  $m_{D_{i'}}$ ,  $m_{\beta_i}$ ,  $m_{\beta_{i'}}$  — соответственно средние квадратические ошибки измерения горизонтальных проложений  $D_i$ ,  $D_{i'}$  и горизонтальных углов  $\beta_i$  и  $\beta_{i'}$ .

Приняв  $m_{D_i} = m_{D_{i'}} = m_D$  и  $m_{\beta_i} = m_{\beta_{i'}} = m_\beta$ , получим

$$m_L^2 = (\sin^2 \beta_i + \sin^2 \beta_{i'}) m_D^2 + \frac{(D_i^2 \cos^2 \beta_i + D_{i'}^2 \cos^2 \beta_{i'})}{\rho^2} m_\beta^2. \quad (51)$$

Если тахеометр установить строго на оси кранового пути, то будут иметь место равенства:  $\beta_i = \beta_{i'} = \beta$ ,  $D_i = D_{i'} = D$  и формула (51) примет вид:

$$m_L^2 = 2 \left[ \sin^2 \beta m_D^2 + \frac{D^2 \cos^2 \beta}{\rho^2} m_\beta^2 \right]. \quad (52)$$

В свою очередь (51)  $\sin\beta = L/2D$ , поэтому в окончательном виде формула для определения средней квадратической ошибки ширины колеи  $L$  будет выглядеть следующим образом:

$$m_L^2 = \frac{L^2}{2D^2} m_D^2 + \frac{4D^2 - L^2}{2\rho^2} m_\beta^2. \quad (53)$$

По формуле (53) подсчитаны средние квадратические ошибки  $m_L$  для различных значений  $L = 10; 20; 30; 40$  м и различных соотношений  $L/D$  от 2,0 (для пролёта 0-0' на рис. 51) до 0,01 при  $m_D = 5$  мм и  $m_\beta = 5''$ . 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. 52).

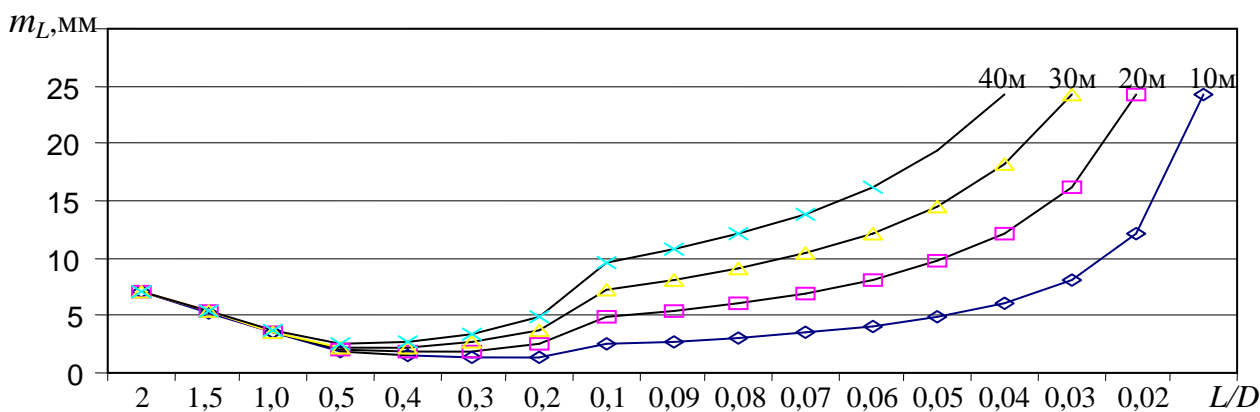


Рис. 52. Графики зависимости ошибки  $m_L$  от соотношения  $L/D$  для  $m_D = 5$  мм и  $m_\beta = 5''$

На основании этих графиков можно констатировать, что средняя квадратическая ошибка  $m_L$  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  $m_L$  средней квадратической ошибки  $m_D$  линейных измерений и увеличению влияния на  $m_L$  ошибки  $m_\beta$  угловых измерений.

Таким образом, имея график для конкретных значений  $L$ ,  $m_D$  и  $m_\beta$ , можно, задавшись требуемой точностью  $m_L$  определения ширины колеи, выбрать наиболее оптимальный вариант соотношения  $L/D$ . Отметим, что значения  $m_D$  и  $m_\beta$  зависят от марки имеющегося в наличии электронного тахеометра. Как отмечалось ранее, 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. 51) могут быть построены графики (рис. 53), 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, 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:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= L_1 - L_0 + \frac{1}{3} \Delta L_3, & \Delta_{1'} &= L_1' - L_0' - \frac{1}{3} \Delta L_3', \\ \Delta_2 &= L_2 - L_0 - \frac{2}{3} \Delta L_3, & \Delta_{2'} &= L_2' - L_0' - \frac{2}{3} \Delta L_3'. \end{aligned} \quad (54)$$

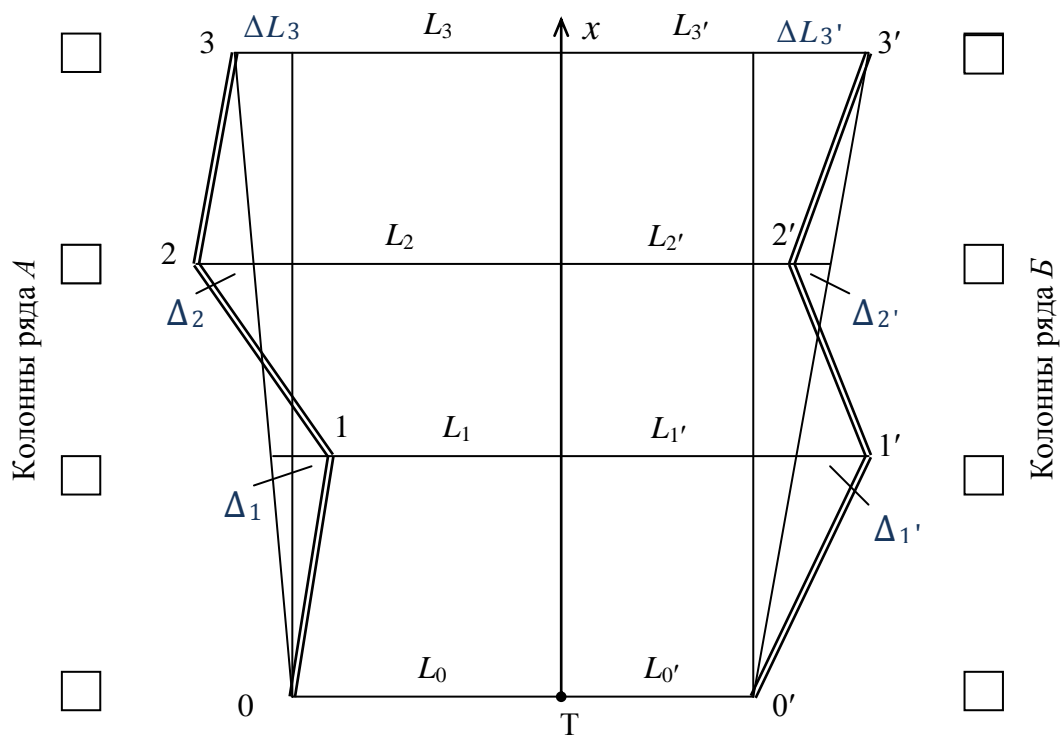


Рис. 53. Схема к определению прямолинейности рельсов

По измеренным превышениям  $h_0$  и  $h_0'$ ,  $h_1$  и  $h_1'$ ,  $h_2$  и  $h_2'$ ,  $h_3$  и  $h_3', \dots, h_n$  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. 51, а переведя зрительную трубу тахеометра через зенит, можно наблюдать другую часть пути.

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.

В работе [95] предлагается другой косвенный способ определения ширины колеи электронным тахеометром, основанный на использовании его клавиши  $SDh$  и теоремы косинусов (рис. 54).

Методика измерений заключается в следующем. Устанавливают тахеометр в некоторой точке  $T$  и ориентируют его по линии  $TA$ . С помощью клавиши  $SDh$  выводят на экран дисплея горизонтальное проложение  $D_A$  и превышение  $h_A$ . Визируют на точку  $B$  и читают на экране значение горизонтального угла  $\beta$ , а при включённой клавише  $SDh$  – значения  $D_B$  и  $h_B$ . Горизонтальное проложение  $ab = L$  наклонной линии  $AB$  вычисляют по формуле косинусов:

$$L^2 = D_A^2 + D_B^2 - 2D_A D_B \cos \beta. \quad (55)$$

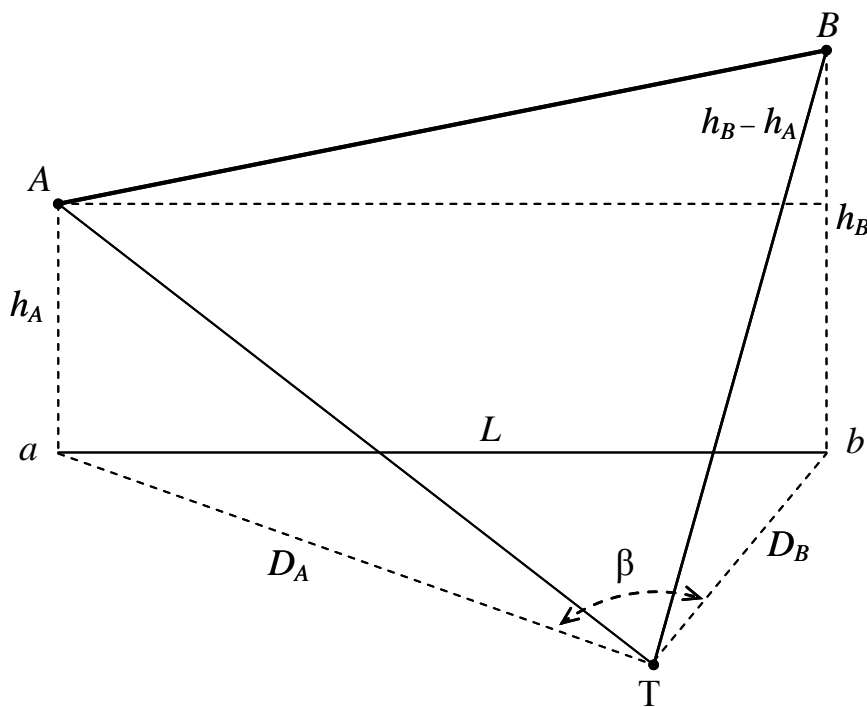


Рис. 54. Схема определения недоступного расстояния с использованием клавиши  $SDh$

Точность определения горизонтального проложения  $L$  будет зависеть от точности измерения горизонтальных проложений  $D_A$ ,  $D_B$  и горизонтального угла  $\beta$ .

Используя формулу (55), и приняв  $D_A = D_B = D$ ,  $m_{DA} = m_{DB} = m_D$ , получим после соответствующих преобразований СКО определения горизонтального проложения  $m_L$ :

$$m_L^2 = \frac{L^2}{2D^2} m_D^2 + \frac{1}{\rho^2} \left( D^2 - \frac{L^2}{4} \right) m_\beta^2, \quad (56)$$

где  $m_{DA}$ ,  $m_{DB}$  и  $m_\beta$  – СКО измерения  $D_A$ ,  $D_B$  и  $\beta$ .

По формуле (56) подсчитаны 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  $m_\beta = 5''$ . Полученные результаты представлены на графиках (рис. 55).

На основании этих графиков можно констатировать, 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 (40 м) до 0,2 (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.

Имея график для конкретных значений  $L$ ,  $m_D$  и  $m_\beta$ , можно, задавшись точностью  $m_L$  определения такого недоступного расстояния  $L$ , выбрать наиболее оптимальный вариант соотношения  $L/D$ . Так, например, точности  $m_L = 3$  мм (пунктирная линия на рис. 55), можно достичь при соотношении  $L/D = 1,0$  для всех рассматриваемых  $L$  от 5 до 40 м. С уменьшением этого соотношения точность 3 мм может быть достигнута, если  $L/D \geq 0,35; 0,25; 0,2; 0,08; 0,04$  соответственно для  $L = 40; 30; 20; 10; 5$  м.

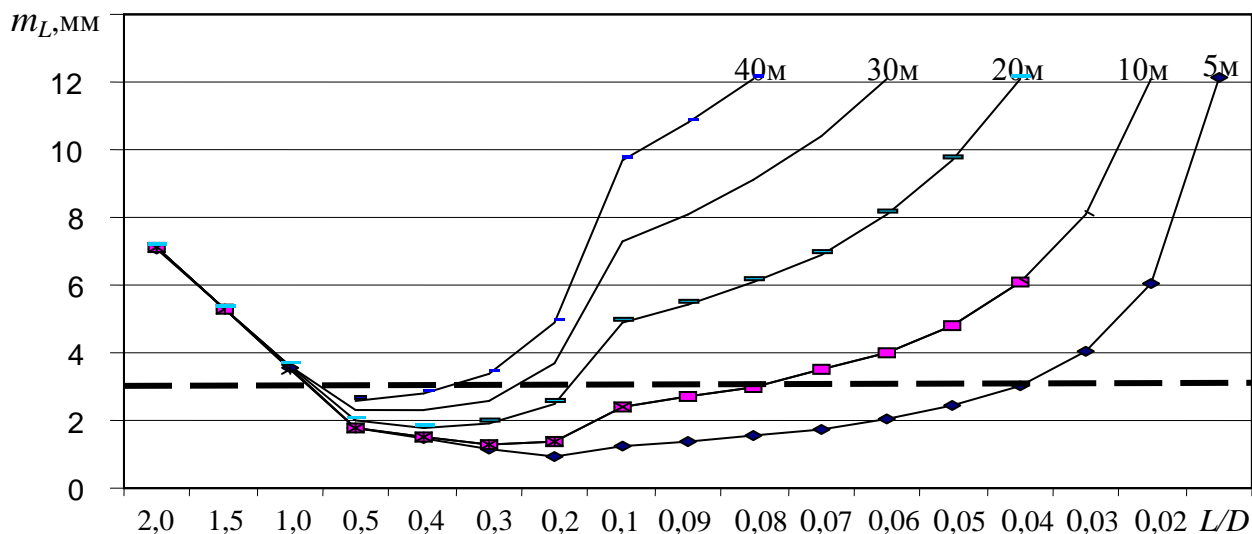


Рис. 55. Графики зависимости ошибки  $m_L$  от соотношения  $L/D$  для  $m_D = 5$  мм и  $m_\beta = 5''$

Отметим, что значения  $m_D$  и  $m_\beta$  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 2 до 10 мм. Причём, многие из них могут работать в безотражательном режиме.

Наконец, по разности  $h_A$  и  $h_B$  можно найти превышение между точками  $A$  и  $B$  и, при необходимости, вычислить наклонную длину  $AB$ .

Для непосредственного определения ширины колеи и превышений между нивелируемыми точками подкрановых рельсов нами предлагается ис-



пользовать клавишу ОНР тахеометра *SET530R/R3* [138]. При этом можно действовать двояко.

В первом случае (рис. 56) визируют на начальную точку **0** и нажимают клавишу РАССТ на первой странице режима измерений Р1. На экран выводятся результаты измерений. Для остановки измерений нажимают клавишу СТОП.

Затем визируют на точку **1** и нажимают клавишу ОНР на третьей странице режима измерений Р3. На экран выводятся значения наклонного расстояния  $S_1$ , горизонтального проложения  $D_1$  и превышения  $h_1$ .

Наводят на следующую точку **2**, нажимают клавишу ОНР и получают значения  $S_2$ ,  $D_2$  и  $h_2$ . Таким образом можно определить взаимное положение между начальной и любыми другими точками. После нажатия клавиши СМЕНА последняя измеренная точка становится новой начальной точкой для следующих других точек.

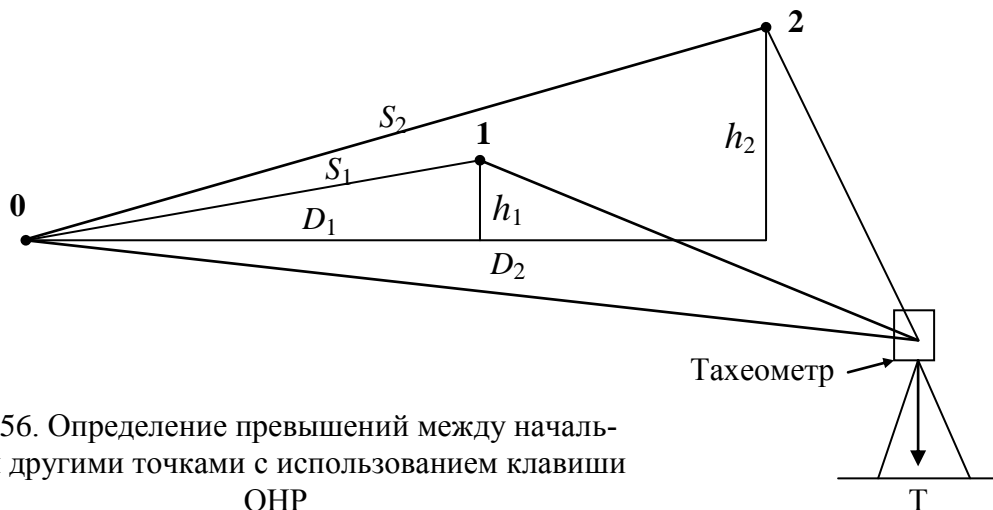


Рис. 56. Определение превышений между начальной и другими точками с использованием клавиши ОНР

Во втором случае (рис. 57), выполнив описанные выше действия по определению  $S_1$ ,  $D_1$  и  $h_1$ , нажимают клавишу СМЕНА, а затем клавишу ДА. Теперь точка **1** становится начальной. Визируют на точку **2**, нажимают клавишу ОНР на третьей странице и получают значения  $S_2$ ,  $D_2$  и  $h_2$  и т. д.

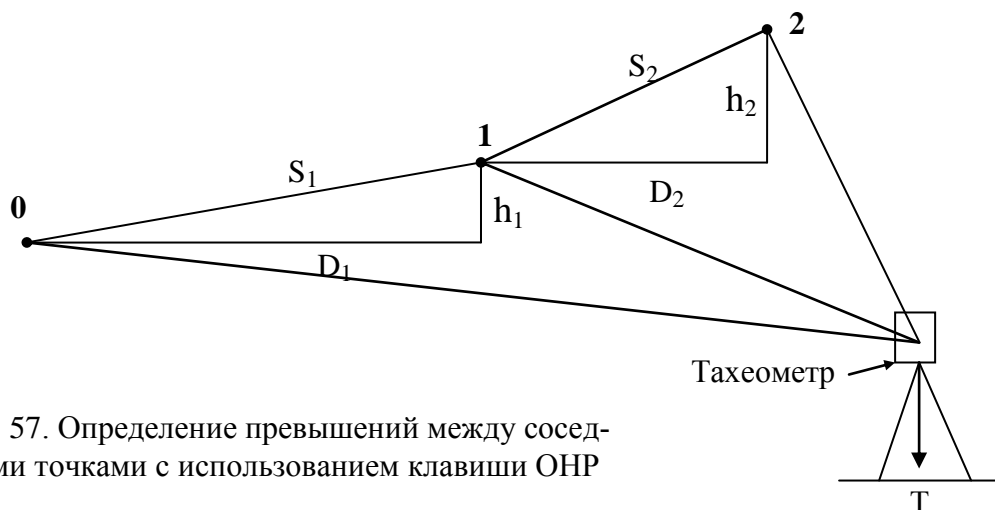


Рис. 57. Определение превышений между соседними точками с использованием клавиши ОНР

Особый интерес представляет использование клавиши ОНР для одновременного определения ширины колеи и производства продольного и поперечного нивелирования подкрановых рельсов с измерением расстояния между соседними нивелируемыми точками.

Так, установив тахеометр в произвольной точке Т (рис. 58), можно по схеме на рис. 56 определить ширину колеи  $S_{0-0'}$ , поперечное превышение  $h_{0-0'}$ , расстояние  $S_{0-1}$  и продольное превышение  $h_{0-1}$ . А беря за начальную точку  $0'$ , можно по схеме на рис. 56 или на рис. 57, определить расстояние  $S_{0'-1'}$  и продольное превышение  $h_{0'-1'}$ . Затем, беря за начальную точку  $1$ , определяют  $S_{1-1'}$ ,  $h_{1-1'}$ ,  $S_{1-2}$  и  $h_{1-2}$ , а беря за начальную точку  $1'$  определяют  $S_{1'-2'}$  и  $h_{1'-2'}$  и т. д.

При работе с тахеометром в безотражательном режиме может использоваться марка-экран, закреплённая, например, на удлинительной штанге с круглым уровнем и Л-образной вилкой на конце для центрирования марки на оси рельса. При этом тахеометр может располагаться на неработающем кране, а марку-экран можно устанавливать с тормозных площадок рабочего крана без выхода работников на крановый путь.

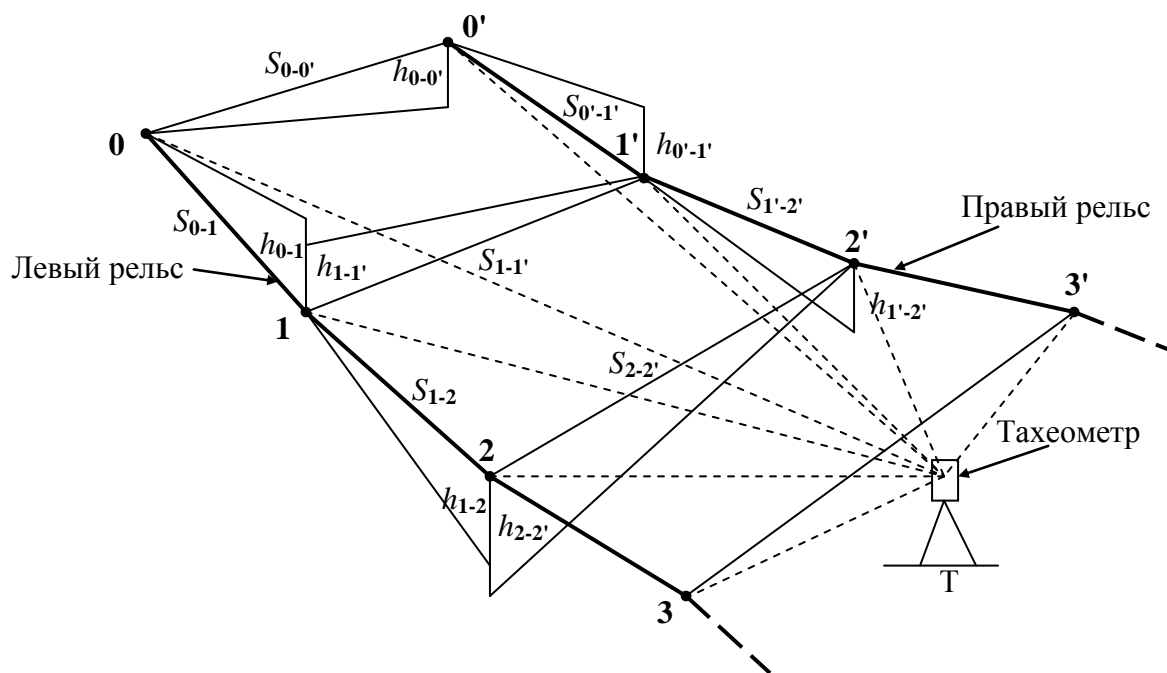


Рис. 58. Схема определения ширины колеи с одновременным нивелированием подкрановых рельсов с использованием клавиши ОНР

С целью проверки предлагаемой методики использования клавиши ОНР тахеометра *SET530R/R3*, было выполнено моделирование способа определения ширины колеи. В качестве модели выступали две параллельные линии В и Г (рис. 59). На этих линиях через 5 м были намечены точки 1, 2, 3, ..., 9 и 1', 2', 3', ..., 9', расстояния между которыми  $S_{i-i'}$  были измерены лазерной рулеткой *HD 150*.

Эти же расстояния  $S_{1-1'}$ ,  $S_{2-2'}$ ,  $S_{3-3'}$ , ...,  $S_{9-9'}$  были измерены с помощью тахеометра, установленного в точке Т, с использованием его клавиши ОНР по описанной выше методике. Результаты измерений представлены в табл. 3.

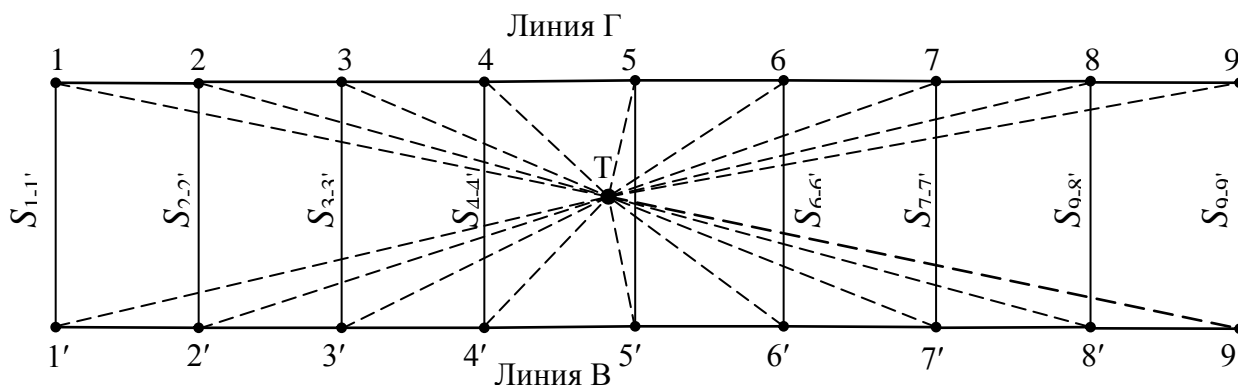


Рис. 59. Схема моделирования способа определения ширины колеи с помощью тахеометра и его клавиши ОНР

Т а б л и ц а 3

**Результаты моделирования способа ОНР  
электронного тахеометра**

Измерения	$S_{1-1'}$	$S_{2-2'}$	$S_{3-3'}$	$S_{4-4'}$	$S_{5-5'}$	$S_{6-6'}$	$S_{7-7'}$	$S_{8-8'}$	$S_{9-9'}$
HD 150	1504	1496	1484	1484	1491	1501	1508	1512	1514
ОНР	1504	1495	1483	1484	1489	1501	1505	1511	1514
Разность	0	-1	-1	0	-2	0	-3	-1	0

Данные табл. 3 свидетельствуют о высокой точности предлагаемого способа использования программы ОНР электронного тахеометра для определения ширины колеи. Все измерения на контролируемом участке производятся с одной точки стояния прибора при, вообще говоря, произвольном его ориентировании.

Способность современных, в том числе безотражательных, электронных тахеометров выдавать на экран монитора прямоугольные координаты точек съёмки позволяет, помимо прочего, использовать их для определения ширины колеи.

Для этого достаточно установить тахеометр в любом месте, с которого будут видны все точки контролируемого участка пути и определить в любой условной системе их прямоугольные координаты  $x_{i,i'}$  и  $y_{i,i'}$ . Путём решения обратной геодезической задачи вычисляют величину  $D_{i-i'}$  горизонтального проложения (рис. 57) между противоположными точками  $i$  и  $i'$ :

$$D_{i-i'} = \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{\Delta y}{\sin r}, \quad (57)$$

где  $\Delta x = x_{i'} - x_i$ ,  $\Delta y = y_{i'} - y_i$ ,  $\operatorname{tgr} = \Delta y / \Delta x$ .

По схеме на рис. 59 было выполнено моделирование этого способа определения ширины колеи путём измерения в условной системе прямоугольных координат  $x_i, y_i$  и  $x_{i'}, y_{i'}$  точек 1, 2, 3, ..., 9 и 1', 2', 3', ..., 9'. Результаты измерений и вычислений представлены в табл. 4.

Вычисленные по формуле (57) горизонтальные проложения ширины колеи (графа 6 табл. 4) сравнивались с их значениями, измеренными лазерной рулеткой HD 150 (графа 7). Расхождения  $\Delta D = D - HD$  (графа 7) составили от  $-2$  до  $+2$  мм. Это свидетельствует о том, что координатный способ определения ширины колеи даёт практически одинаковые результаты по сравнению с непосредственным способом её измерения.

В графе 9 табл. 4 приведены дирекционные углы измеряемых пролётов, которые теоретически должны быть одинаковыми и контролировать перпендикулярность пролётов оси рельсового пути.

Таблица 4

**Результаты моделирования координатного способа  
определения ширины колеи**

Про- лёт	Координаты, м				$D_i$ , мм	$HD$ , мм	$D - HD$ , мм	$\alpha, ^\circ$	$\Delta\alpha, ^\circ$
	$x_i$	$y_i$	$x_{i'}$	$y_{i'}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-1'	31,279	33,785	32,425	32,811	1504	1504	0	319,63	+0,11
2-2'	27,963	30,041	29,104	29,077	1494	1496	-2	319,80	+0,28
3-3'	24,654	26,312	25,779	25,346	1483	1484	-1	319,33	-0,19
4-4'	21,337	22,574	22,464	21,606	1486	1484	+2	319,33	-0,19
5-5'	18,018	18,832	19,151	17,866	1489	1491	-2	319,55	+0,03
6-6'	14,701	15,097	15,842	14,120	1502	1501	+1	319,43	-0,09
7-7'	11,379	11,346	12,529	10,370	1508	1508	0	319,68	+0,16
8-8'	8,057	7,617	9,203	6,628	1514	1512	+2	319,20	-0,32
9-9'	4,742	3,854	5,896	2,876	1513	1514	-1	319,72	+0,20

В нашем примере за перпендикулярное оси пути направление принято среднее арифметическое значение  $\alpha$  равное  $319,52^\circ$ . Отклонения от этого направления  $\Delta\alpha$  приведены в графе 10. Теоретически эти отклонения должны оказать влияние  $\Delta D$  (всегда со знаком «минус») на величину  $D$  определяемой ширины колеи:

$$\Delta D = D(1 - \cos \Delta\alpha) . \quad (58)$$

По формуле (58) посчитаны поправки  $\Delta D$  для  $D$  равных 10, 20, 30 м и  $\Delta\alpha$  от  $0,1$  до  $0,5^\circ$ . Результаты расчётов иллюстрируются графиками на рис. 60 .

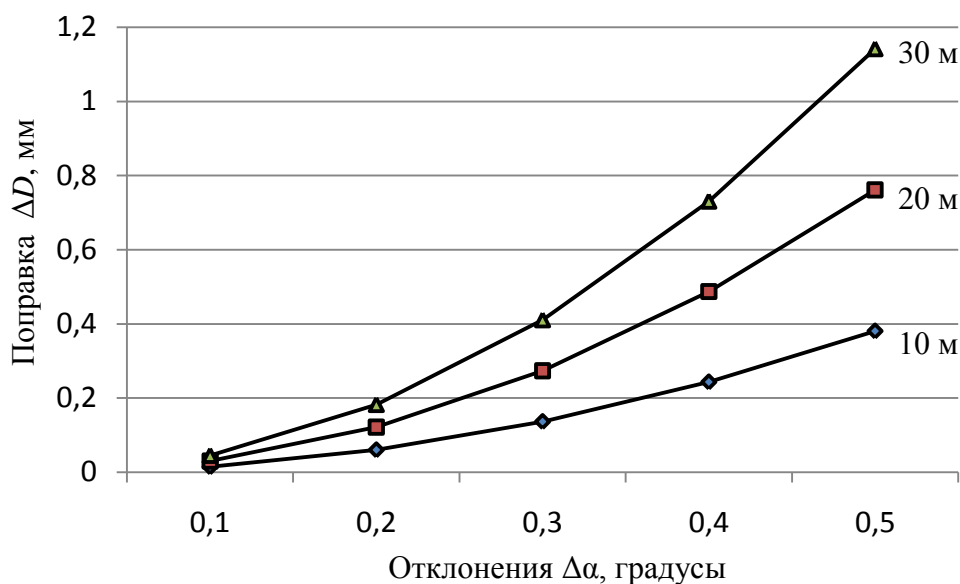


Рис. 60. Графики зависимости  $\Delta D$  от  $\Delta\alpha$  для различных  $D$

На основании этих графиков можно утверждать, что даже при ширине колеи 30 м и отклонении  $\Delta\alpha$  на полградуса поправка  $\Delta D$  составит всего 1,1 мм и её можно не учитывать, тем более при меньших значениях ширины колеи.

### 3.2.3. Фотографический способ

Одними из основных недостатков существующих способов является необходимость выхода исполнителей на подкрановый путь и многократное задействование мостового крана.

Применение любительских цифровых неметрических камер в сочетании с компьютерной техникой и программ редактирования фотографических изображений может кардинально изменить технологию такого контроля. В частности, можно совместить три операции: определение ширины колеи и прямолинейности подкрановых рельсов, а также нивелирование подкранового пути [140].

Если ширина колеи кранового пути небольшая, то сущность предлагаемого фотографического способа её определения поясняется рис. 61 и заключается в следующем. Устанавливают, например, на неработающем кране фотокамеру, а на работающем кране закрепляют две марки 1 и 2, расстояние между которыми является базисом, длину которого  $S$  измеряют.

Перемещают кран, пока он не расположится в створе двух колонн в пролёте. В этом же створе устанавливают на рельсы две марки 3 и 4 и фотографируют все четыре марки. Базис в дальнейшем служит для масштабирования снимка с целью получения результатов измерения на нём в метрической системе.

Определяют на снимке сколько пикселей  $S_{\Pi}$  содержится в длине базиса 1-2 и сколько пикселям  $L_{\Pi}$  соответствует расстояние между марками 3-4. Вычисляют ширину колеи  $L$  по формуле:

$$L = \frac{S}{S_{\Pi}} L_{\Pi}, \quad (59)$$

где  $S/S_{\Pi}$  – размер одного пикселя.

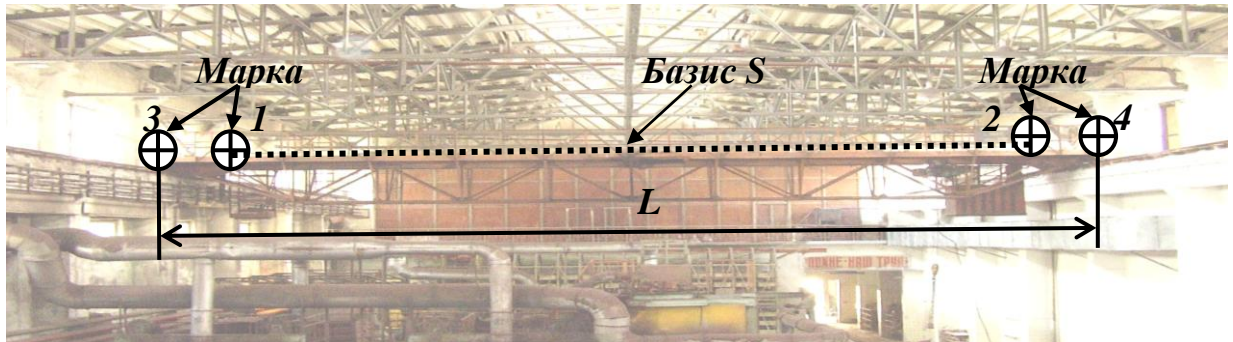


Рис. 61. Схема фотографического способа определения ширины колеи мостового крана

В подтверждение сказанному было выполнено моделирование фотографического способа определения ширины колеи, в качестве которой выступали две параллельные полосы толщиной 5 мм каждая (рис. 62). Фотографирование выполнялось с помощью аппарата *Nikon D3100* с зафиксированным фокусным расстоянием 55 мм.

Процесс измерений заключался в фотографировании 1,5 м рейки, которая последовательно укладывалась на пролётах 1-1', 2-2', ..., 14-14' на расстояниях  $d_1, d_2, \dots, d_{14}$  от точки  $\Phi$ . Истинная ширина пролётов  $L_{\text{ист}}$  и расстояния  $d_{\text{ист}}$  были измерены лазерной рулеткой HD150.

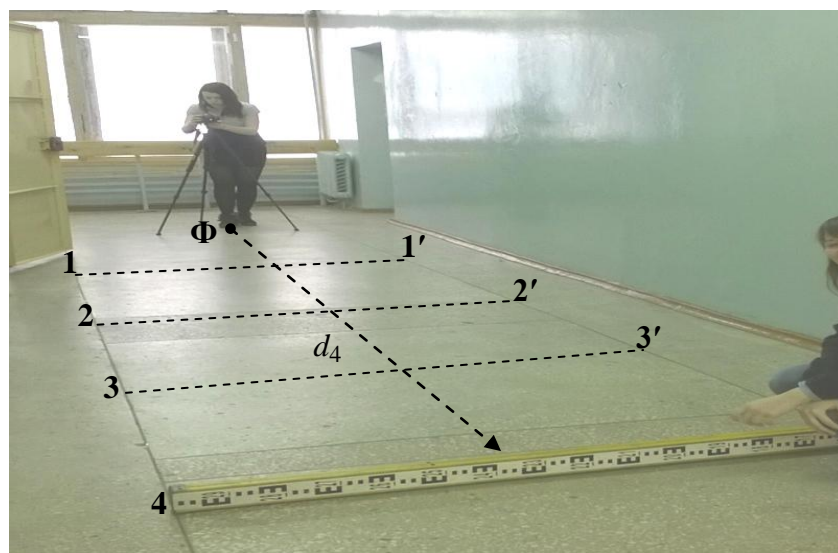


Рис. 62. Схема моделирования фотографического способа определения ширины колеи

Полученные снимки выводились на экран монитора и с помощью программы *ArchiCAD 18* выполнялся подсчёт количества пикселей приходящихся, во-первых, на ширину пролётов и, во-вторых, количество пикселей,

приходящихся на рейку длиной  $b_{1,2,3} = 1,5; 1,0; 0,5$  м соответственно. Результаты измерений и вычислений представлены в табл. 5.

Сравнение результатов измерений ширины пролётов (графы 11, 12, 13) с их истинными значениями (графа 3) показали, что ошибки определений фотографическим способом находятся в пределах от  $-3$  до  $+3$  мм для рейки 1,5 м, от  $-3$  до  $+4$  мм для рейки 1,0 м и от  $-5$  до  $+5$  мм для рейки 0,5 м. Эти данные позволяют сделать вывод, во-первых, о том, что фотографический способ позволяет обеспечивать требуемую точность измерений, и, во-вторых, чем больше величина базиса  $b$ , тем точность измерений выше.

Т а б л и ц а 5

**Результаты моделирования фотографического способа  
определения ширины колеи**

Про- лёты	Рас- стоя- ние $d_{ист}$ , м	Ши- рина пролё- та, $L_{ист}$ , мм	Количество пикселей в про- лёте и рейке			Раз- мер пик- селя $\delta$ , мм/пк с	Рас- стоя- ние $d_{изм}$ , м	$d_{изм} - d_{ист}$ см	Измеренная ширина пролета $L_{изм}$ , мм			$L_{изм} - L_{ист}$ , мм			
			Про- лёт	$b_1$	$b_2$				$b_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1-1'	7,94	1487	1061	1071	714	356	1,4	7,92	-2	1486	1486	1490	-1	-1	+3
2-2'	9,61	1483	867	881	586	293	1,7	9,62	+1	1480	1480	1480	-3	-3	-3
3-3'	10,21	1486	820	828	552	276	1,8	10,24	+3	1486	1486	1486	0	0	0
4-4'	12,10	1485	691	698	465	233	2,2	12,14	+4	1485	1486	1483	0	+1	-2
5-5'	13,91	1482	604	610	407	204	2,5	13,90	-1	1485	1484	1480	+3	+2	-2
6-6'	15,61	1487	539	543	362	181	2,8	15,61	0	1489	1489	1489	+2	+2	+2
7-7'	16,21	1487	520	523	349	175	2,9	16,21	0	1486	1490	1486	-1	+3	-1
8-8'	18,12	1488	469	468	315	158	3,2	18,11	-1	1487	1489	1484	-1	+1	-4
9-9'	19,93	1499	423	424	282	141	3,5	19,94	+1	1496	1500	1500	-3	+1	+1
10-10'	21,69	1495	388	391	260	130	3,8	21,68	-1	1492	1492	1492	-3	-3	-3
11-11'	22,23	1501	380	382	253	127	3,9	22,19	-4	1500	1502	1496	-1	+1	-5
12-12'	24,12	1499	351	352	234	117	4,3	24,08	-4	1496	1500	1500	-3	+1	+1
13-13'	25,83	1500	328	328	219	109	4,6	25,84	+1	1500	1498	1505	0	-2	+5
14-14'	27,97	1506	308	303	204	102	4,9	27,9	0	1505	1510	1510	-1	+4	+4

По значениям  $d_{ист}$  и количеству пикселей для базиса 1,5 м (графы 2 и 5) были подсчитаны коэффициенты  $A_i = d_i \times \Delta_i$  и найдено их среднее значение  $A$  равное 8476,1 мхпкс. По формуле  $d = A/\Delta$  были вычислены расстояния  $d_{изм}$  (графа 9), отклонение которых от истинного значения составили от  $-4$  до  $+4$  см, что позволяет наряду со строгим способом определения коэффициента  $A$  по формуле, приведенной в работе [140], равного 8478,1 мхпкс рекомендовать его упрощенный вариант.

Считаем перспективным совмещение рассмотренных выше операций по определению ширины колеи и прямолинейности подкрановых рельсов, а также нивелирование подкранового пути. Сущность такого совмещения поясняется рис. 63 и заключается в следующем. На работающем кране закрепляют две марки 1 и 2, расстояние между которыми  $S$  измеряют. На кране имеются два вертикальных и два горизонтальных базиса известной длины  $b_B$  и  $b_G$ , скреплённые попарно между собой под прямым углом. Кран перемещают в конец цеха, пока он не расположится в створе двух колонн в пролёте. В этом же створе устанавливают на рельсы два вертикальных (со скреплёнными с ними горизонтальными) базиса.



Рис. 63. Мостовой кран с марками 1, 2 и горизонтальными и вертикальными базами

В начале кранового пути центрируют над левым и правым рельсами две фотокамеры и измеряют их «высоту инструмента» над головкой рельса. Ориентируют оптическую ось каждой фотокамеры вдоль рельса, направляя её на «высоту инструмента» на вертикальном базисе. Фотографируют базисы при неподвижном положении фотокамер, последовательно перемещая кран и устанавливая базисы в створе других колонн в пролёте.

Полученные снимки выводят на экран монитора и с помощью одной из программ редактирования фотографических изображений выполняют подсчёт количества пикселей  $\Delta_B$  и  $\Delta_G$ , приходящихся, во-первых, на длину вертикальных и горизонтальных базисов. Во-вторых, определяют количество пикселей  $L$  и  $\Pi$  между вертикальными базисами и марками 1 и 2 и берут отсчёт, соответствующий положению курсора в центре рельса.

Величины  $\Delta_G$  используют для определения размера одного пикселя  $\delta_G = b_G/\Delta_G$ , с помощью которой отсчёты на центр рельса переводят в метрическую систему единиц и находят разность каждого отсчёта с начальным отсчётом. Эти разности, характеризуют отклонение оси рельса от прямой.

Количество пикселей  $\Delta_G$  или  $\Delta_B$  можно использовать для различных целей, в том числе и для определения расстояний от фотокамеры до базисов, по методикам, изложенной в разделах 2.1, 2.2 и 6.1.

Для определения ширины  $L$  колеи необходимо количество пикселей  $L$  и  $\Pi$  перевести в метрическую систему  $L' = \delta_G L$  и  $\Pi' = \delta_G \Pi$ , тогда ширина колеи будет равна:

$$L = S + L' + \Pi'. \quad (60)$$

Проведенное знаковое моделирование и контрольные измерения доказали состоятельность предлагаемого фотографического способа определения ширины колеи подкранового пути.



## Глава 4. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОДКРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ

Определение высотного положения подкрановых рельсов может осуществляться геометрическим, тригонометрическим, гидростатическим, фотографическим нивелированием. Другие способы нивелирования предусматривают применение оптических или лучевых створов, ручных безотражательных дальномеров, специальных измерительных возможностей электронных тахеометров и др.

Наиболее распространённый способ нивелирования доступных крановых путей предусматривает установку применяемого прибора на уровне подкрановых рельсов на обычном или специальных штативах или подставках. Причём, при использовании электронных тахеометров или неметрических цифровых фотокамер можно наряду с нивелированием осуществлять определение непрямолинейности подкрановых рельсов и ширины колеи.

Использование ориентированных горизонтальных оптических или лучевых створов позволяет совместить процесс нивелирования с определением непрямолинейности рельсовых осей и расстояния между ними.

Для съёмки недоступных подкрановых путей, применяют, как правило, различные варианты тригонометрического нивелирования в сочетании с косвенными определениями планового положения рельсов.

Менее распространённым является гидростатическое нивелирование, опыт применения которого на практике ограничивается только контролем положения подкрановых рельсов в вертикальной плоскости.

Что касается высотной съёмки труднодоступных путей, то здесь выбор методики нивелирования полностью зависит от условий съёмки и может осуществляться одним из способов, рассмотренных в данной и других главах книги.

Обработка результатов нивелирования заключается в определении условных отметок головок рельсов. По условным отметкам головок рельсов строят продольные профили для каждой рельсовой нити, а также определяют разности отметок на соседних колоннах и в поперечных сечениях.

### 4.1. Геометрическое нивелирование

Наиболее эффективным способом определения отметок точек, находящихся на одной прямой и равноудалённых друг от друга является нивелирование таких точек с минимального числа станций. Основным недостатком такого способа является неравенство расстояний от нивелира до реек, что приводит к определённым ошибкам.

Наибольшее влияние оказывают ошибки за несоблюдение главного условия нивелира (непараллельность визирной оси и оси цилиндрического уровня или неравенство угла  $i$  нулю) и изменение этого условия под действием перефокусирования зрительной трубы. Эти ошибки имеют систематический характер. Поэтому методика нивелирования должна быть направлена на максимальную компенсацию таких ошибок и обеспечение равноточности оп-

ределения отметок всего ряда нивелируемых точек. На рис. 64 приведены возможные схемы геометрического нивелирования с установкой нивелира над рельсом или на кране.

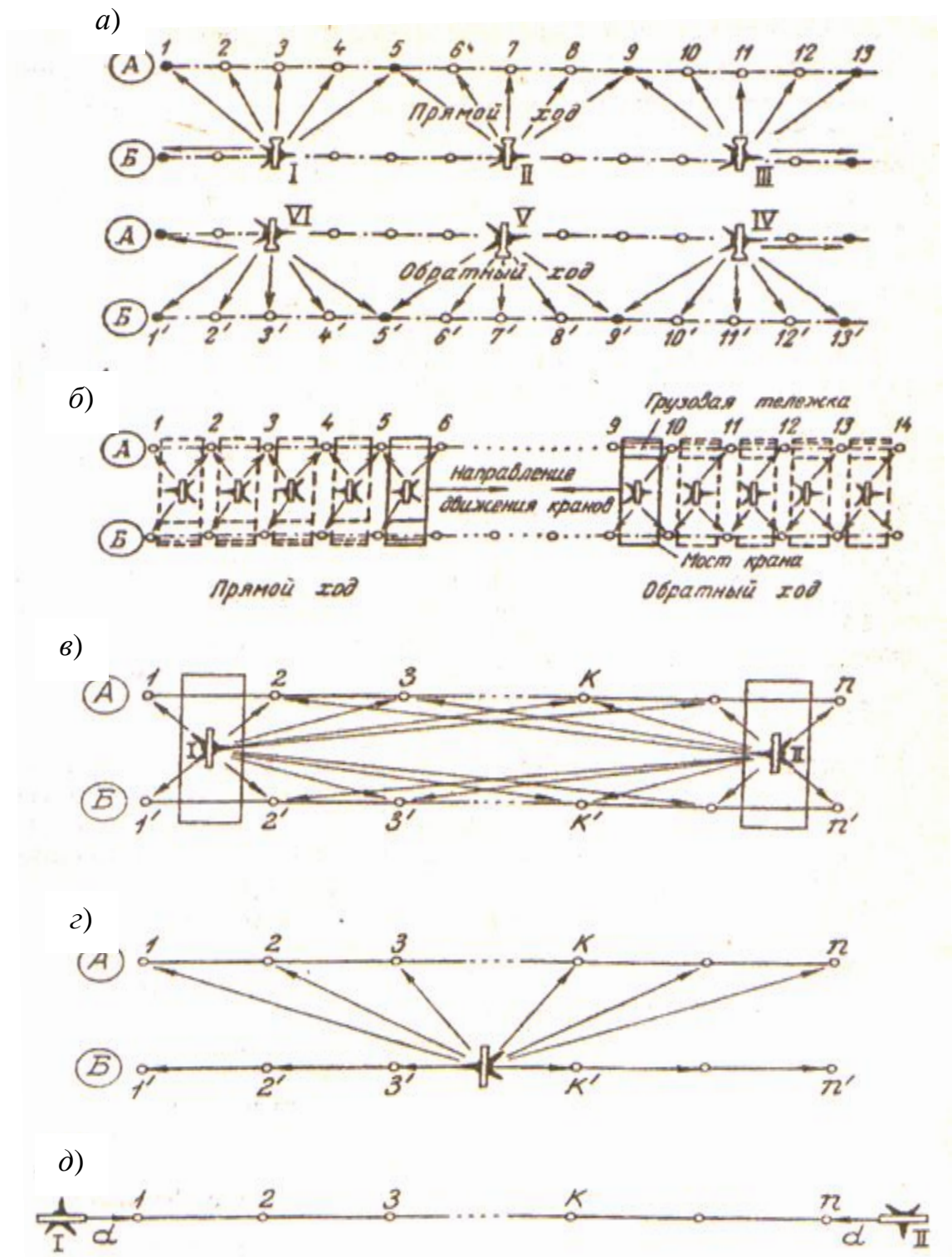


Рис. 64. Схемы геометрического нивелирования

Так (рис. 64, а), в прямом ходе нивелируют рельс А со станций, расположенных на противоположной рельсовой нити Б. В обратном ходе нивелируют рельс Б со стороны рельса А. Начальные и конечные точки ходов свя-

зывают между собой, получая один замкнутый ход, в котором выдержано условие равенства плеч между связующими точками.

Высотная невязка  $f_h$  такого хода не должна превышать величины  $tm_h\sqrt{n}$ , где  $m_h$  – СКО определения превышения между связующими точками,  $n$  – число станций, а  $t$  – нормированный множитель. При  $m_h = 2$  мм,  $t = 2$  невязка  $f_h = 4$  мм $\sqrt{n}$ . В работе [36] рекомендована  $f_h = 6$  мм $\sqrt{n}$ , а в «Методических указаниях...» [70, стр. 37] рекомендуется передача отметок с одного рельса на другой через каждые 70-100 м, причём невязка в каждом полигоне не должна превышать 3 мм.

При этом в различных источниках рекомендуется различная максимально допустимая длина плеч. В работе [21] она не должна превышать 35-50 м, а другие авторы [18] ограничивают расстояние от нивелира до рейки 60-65-ю метрами. В [36] длина визирного луча допускается до 100 м, но при плохом освещении её снижают до 50-75 м. По другим данным [47] применение отъюстированных нивелиров типа НЗ позволяет даже при нивелировании «вперёд» увеличить длину визирного луча до 120 м.

Как видим, некоторые рекомендации исключают применение данной схемы нивелирования (рис, 64, а) при ширине колеи более 30 м. Другие авторы более оптимистичны, но они не учитывают влияние внешних факторов. Поэтому, при проектировании программы нивелирования по любой схеме на рис. 64 следует ориентироваться на максимально возможную длину визирного луча, например 100 м. А в процессе нивелирования внешние условия конкретного цеха автоматически откорректируют эту длину до оптимальной величины.

Наконец, нельзя согласиться с утверждением, что непосредственное измерение только продольных превышений (за исключением крайних точек) заставляет повышать точность измерений для вычисления поперечных превышений как функций измеренных [36]. Рассчитывая точность нивелирования по продольному допуску 10 мм, всегда будет обеспечена достаточная точность определения поперечных превышений, допуск на которые 40 мм.

В работе [36] проведён детальный анализ «веерообразного» способа нивелирования (рис, 64, а). Здесь для расчёта необходимой точности определения превышения предложена формула:

$$m_h = \frac{m}{\sqrt{\frac{3(n+5)(n+1)}{8(n+2)}}}, \quad (61)$$

где  $m$  – СКО, определяемая по формуле (11);  $n$  – число двойных станций (на рис. 64, а  $n = 3$ ).

На рис. 64, б показана схема нивелирования, когда выход речника на подкрановый путь исключён. Здесь нивелир устанавливается на кране и при неподвижном его положении нивелируют три точки по рейке, которую устанавливают с мостового крана. Перемещая кран, последовательно нивелируют

весь крановый путь, обеспечивая, во-первых, равенство плеч в продольном и поперечном направлениях и, во-вторых, непосредственное определение как продольных, так и поперечных превышений, характеризующих высотное положение рельсов под нагрузкой крана.

При задействовании одновременно двух кранов, с каждого их них нивелируют половину пути, связав ходы в его середине. Однако следует учесть, что при данной схеме значительно усложняется организация работ и резко возрастает количество станций. Кроме того, в ряде публикаций (см., например, [47]) считается крайне нежелательным использование кранов для целей планово-высотного контроля положения рельсов, поскольку они существенно изменяют геометрию подкрановых путей.

Схема на рис. 64, в также предусматривает установку нивелира на кране, расположенном в начале контролируемого участка. С первой станции *I* производят нивелирование половины этого участка, другую половину которого нивелируют со станции *II*, переместив кран в конец участка. Причём нивелирование второго хода начинают с конечных точек первого. Здесь равенство плеч соблюдается только в отношении поперечных превышений. Продольные превышения, помимо прочего, будут содержать ошибку  $m_i$  за наклон визирной оси и ошибку  $m_{\Pi}$  за счёт перефокусировки зрительной трубы. Эти ошибки можно вычислить по формуле:  $m_{i(\Pi)} = i(\Pi)\Delta S/\rho$ , где значения углов  $i$  и  $\Pi$  устанавливаются в результате исследований нивелира;  $\Delta S$  – разность плеч;  $\rho = 206265''$ . Например, при  $\Delta S = 12$  м,  $i = 20''$ ,  $\Pi = 10''$  получим соответственно  $m_i = 1,2$  мм,  $m_{\Pi} = 0,6$  мм.

Другой вариант выполнения схемы на рис. 64, в заключается в нивелировании всего участка с крана, установленного в его средней части. В этом случае имеем всего одну станцию, но при равенстве плеч в поперечном отношении сохраняется их неравенство в продольном.

В работе [51] предложено в схеме нивелирования подкрановых путей (рис. 64, в) предусматривать нивелирование каждой точки с двух станций, чем может быть достигнута частичная компенсация ошибки за несоблюдение главного условия нивелира. Но при этом в два раза уменьшается длина контролируемого участка по сравнению с рассмотренным выше вариантом при одинаковом объёме наблюдений. Ошибку превышения для каждой станции между точками *K-1* и *K-n* можно вычислить по формуле [41]:

$$m_i = \frac{i}{\rho} \left( \sqrt{k^2 l^2 + d^2} - \sqrt{(k-1)^2 l^2 + d^2} \right), \quad (62)$$

где  $d$  – расстояние от прибора до начальной точки нивелирования;  $l$  – расстояние между соседними точками ряда;  $k = 0, 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер.

Остаточная ошибка при выводе средних превышений будет равна  $0,5(m_{iI} - m_{iII})$ , где  $m_{iI}$  и  $m_{iII}$  – соответственно ошибки, возникающие при нивелировании смежных точек со станций *I* и *II*. Максимальная ошибка будет в середине хода.

Веерообразный способ на рис. 64, *з* предусматривает нивелирование всех точек контролируемого участка пути с одной станции с установкой нивелира над одной из рельсовых нитей. В этом случае, как и в предыдущем, определяют непосредственно оба вида превышений, но колебания длин плеч по этой схеме максимальные. Учёт их неравенства осложняется, помимо прочего, изменениями угла  $i$  во времени и при смене температуры. В работе [52] приведены результаты исследований нивелиров НА-1, Н2, Кони-007 и Н-3К в помещении и на улице. За 11 часов наблюдений колебания угла  $i$  составили от 4 до 19", температура воздуха изменилась на 20°C. В среднем из четырёх дней наблюдений угол  $i$  за один час изменялся от 0,7 до 1,8".

Для исключения влияния угла  $i$  на результаты нивелирования в работе [41] предложен створный метод двойного нивелирования (рис. 64, *д*). Для его выполнения нивелир устанавливается в створе точек при прямом ходе на станции *I* и обратном на станции *II* на одинаковом расстоянии  $d$  от начальных точек нивелирования.

Этот способ позволяет компенсировать ошибку за невыполнение главного условия нивелира, так как ошибки в превышениях между соседними точками постоянны и не зависят от порядкового номера точки, то есть  $m_{iI} = m_{iII} = il/\rho$ , где  $l$  – расстояние между соседними точками. Таким образом, остаточное влияние ошибок  $m_i$  при выводе средних значений превышений между точками ряда будет равно нулю.

Метод створного нивелирования точек можно применять, когда их не менее трёх. При этом не требуется, чтобы расстояние между ними было одинаковым. Не обязательно определение угла  $i$  или сведение его к минимуму, измерение длин плеч и введение каких-либо поправок. Двойное нивелирование створных точек с двух противоположных станций компенсирует ошибки за неправильный ход фокусирующей линзы, за рефракцию и др. Недостатком способа является увеличение объёма работ за счёт сокращения длины контролируемого участка и двойного его нивелирования.

В работе [15] предлагается использовать два лазерных визира типа ЛВ-5М с целью одновременного наблюдения за положением обоих подкрановых рельсов в вертикальной плоскости. При этом определение угла  $i$  между лазерным лучом и осью цилиндрического уровня можно выполнить одновременно с нивелированием одним из двух следующих способов.

В первом способе лазерные визиры, установленные на противоположных концах рельса, можно поменять местами. Тогда углы  $i$  для первого и второго визиров будут равны:

$$i_1 = \frac{(a_1 - a_2 - 2l)}{2d_1} \rho, \quad i_2 = \frac{(b_2 - b_1 - 2l)}{2d_1} \rho, \quad (63)$$

где  $a$  и  $b$  – отсчёты по маркам мишеням, установленных на противоположных от лазерных визиров концах рельсов;  $d_1$  – расстояние между концами рельса в начальном створе;  $l$  – разность высот первого и второго визиров

(разность нуль-пунктов марок-мишеней, установленных на рельс рядом друг с другом).

Превышение  $h$  между головками рельсов в начальном створе, в котором установлены визиры, определится как:

$$h = \frac{a_1 - a_2}{2} = \frac{b_2 - b_1}{2}. \quad (64)$$

Во втором способе визиры на противоположных рельсах поменять местами нельзя. В этом случае берут отсчёты  $a_1, b_1, a_3, b_3$  по маркам, находящимся на противоположных от визиров рельсах в начальном и конечном створах, и отсчёты  $a_2, b_2$  по маркам, находящимся на одних с визирами рельсах в противоположных концах (створах). Зная  $d_1$  – расстояние между рельсами в начальном створе,  $d_2$  – длину подкрановых путей,  $d_3 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$  – расстояние между началом одного и концом другого рельса,  $l$  – разность нуль-пунктов марок-мишеней, установленных на противоположных рельсах, получают искомые углы:

$$i_1 = \frac{a_2 - a_1 - b_3 + b_1 d_3 / d_1 + a_1 d_3 / d_1}{d_3 + d_2 - d_1} \rho, \quad i_2 = \frac{b_1 \rho + a_1 \rho - i_1 d_1}{d_1}, \quad (65)$$

а превышения:  $h_1$  – между головками рельсов в начальном створе,  $h_2$  и  $h_3$  – между головками первого и второго рельсов в начальном и конечном створах можно найти из выражений:

$$h_1 = a_1 - \frac{i_1}{\rho} d_1 - l, \quad h_2 = a_2 - \frac{i_1}{\rho} d_2, \quad h_3 = b_2 - \frac{i_2}{\rho} d_2. \quad (66)$$

О методике определения влияния перефокусировки на отсчёт по вертикальной шкале можно прочесть, например, в статье [104]. Исследования показали, что на расстоянии 30-120 м неверность хода фокусирующей линзы может приносить в отсчёт ошибку 3-5 мм.

В работе [76] предлагается методика математической обработки результатов измерений для определения наиболее вероятнейшего значения угла  $i$  при наличии избыточных данных с оценкой точности самого определения.

Если в цехе возможна установка нивелира на полу или на некотором возвышении так, чтобы обеспечивалась видимость на нивелирную рейку 1, подвешенную на тросике 2 к закреплённому на кране деревянному бруску 3, то для перемещения рейки используют кран (рис. 65).

При этом может применяться одна из рассмотренных выше схем нивелирования. Перед каждым отсчётом  $a$  по рейке брусок с помощью уровня 4 приводят в горизонтальное положение. Использование двух подвесных реек обеспечивает одновременное нивелирование с одной станции обеих рельсовых ниток.

Зная высоту подвески реек  $l_A$  и  $l_B$  и превышение бруска над головкой рельса  $\delta_A$  и  $\delta_B$ , вычисляют превышения  $H_A$  и  $H_B$  головок рельсов над гори-

зонтом инструмента:  $H_{Ai} = a_i + l_A - \delta_A$ ,  $H_{Bi} = b_i + l_B - \delta_B$ . Вместо рейки можно использовать рулетку с грузом на конце, на полотне которой укреплена подвижная марка с горизонтальной чертой. Перемещая марку, добиваются совпадения её черты с горизонтальной нитью сетки нивелира и по шкале рулетки берут отсчёт.

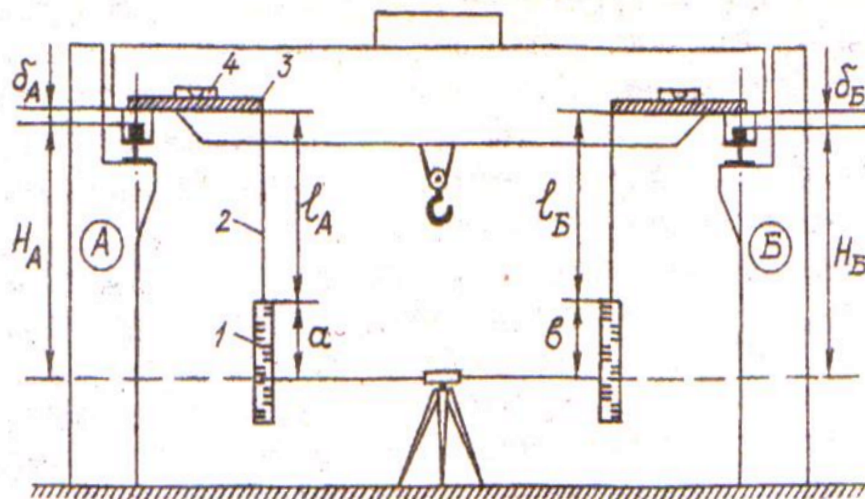


Рис. 65. Нивелирование с помощью подвесной рейки

Поскольку при геометрическом нивелировании подкрановых рельсов вычисляют отметки их головок от произвольного нуля, то разности отметок смежных точек можно рассматривать как разности отсчётов по рейкам в этих точках. Поэтому погрешность  $m_h$  определения превышений головок рельсов в одном поперечном сечении и между соседними колоннами будет зависеть от результирующей точности отсчёта по рейке, на которую, кроме рефракции, влияют погрешности: приведения пузырька уровня в нуль-пункт  $m_\tau = 0,21 + 0,035\tau$  ( $\tau$  – цена деления уровня), отсчёта по рейке  $m_o$ , делений рейки  $m_d$ . Кроме того, некоторые погрешности влияют только на разность отметок при наличии разности плеч  $\Delta S$ . К ним относятся погрешности за счёт наклона визирной оси  $m_i$ , перефокусировки  $m_{\Pi}$ , непостоянства угла между осью цилиндрического уровня и визирной осью зрительной трубы  $m_{\Delta i}$  в результате температурных воздействий на нивелир. Отсюда получаем:

$$m_h = \sqrt{2(m_\tau^2 + m_o^2 + m_d^2) + m_i^2 + m_{\Pi}^2 + m_{\Delta i}^2}. \quad (67)$$

По данным работы [47], при использовании нивелира НЗ, длине плеча 100 м, разности плеч 12 м, наклоне визирного луча при перефокусировке до  $10''$  и колебании угла  $i$  до  $\pm 20''$ , перечисленные погрешности составят  $m_\tau = 1$  мм,  $m_o = 1,3$  мм,  $m_d = 0,5$  мм,  $m_i = 1,2$  мм,  $m_{\Pi} = 0,6$  мм,  $m_{\Delta i} = 1,2$  мм, а СКО  $m_h = 2,5$  мм.

#### 4.1.1. Нивелирование с использованием лазерной рулетки

Основным недостатком способа, показанного на рис. 65 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.

Оно может выполняться по нескольким схемам. Эти схемы предусматривают измерение вертикального расстояния между головкой рельса и точкой  $C$ , расположенной на полу цеха или на поверхности технологического оборудования (рис. 66). Последующее нивелирование таких точек с привязкой к реперу позволит определить абсолютные отметки головок рельсов.

Так, схемы на рис. 66, *а*, *б* предусматривают закрепление лазерной рулетки на одном конце бруска с уровнем. Установив брусок в горизонтальное положение с помощью цилиндрического уровня, измеряют вертикальное расстояние  $h$  до точки  $C$ .

В первом случае (рис. 66, *а*) необходим выход работника на крановый путь.

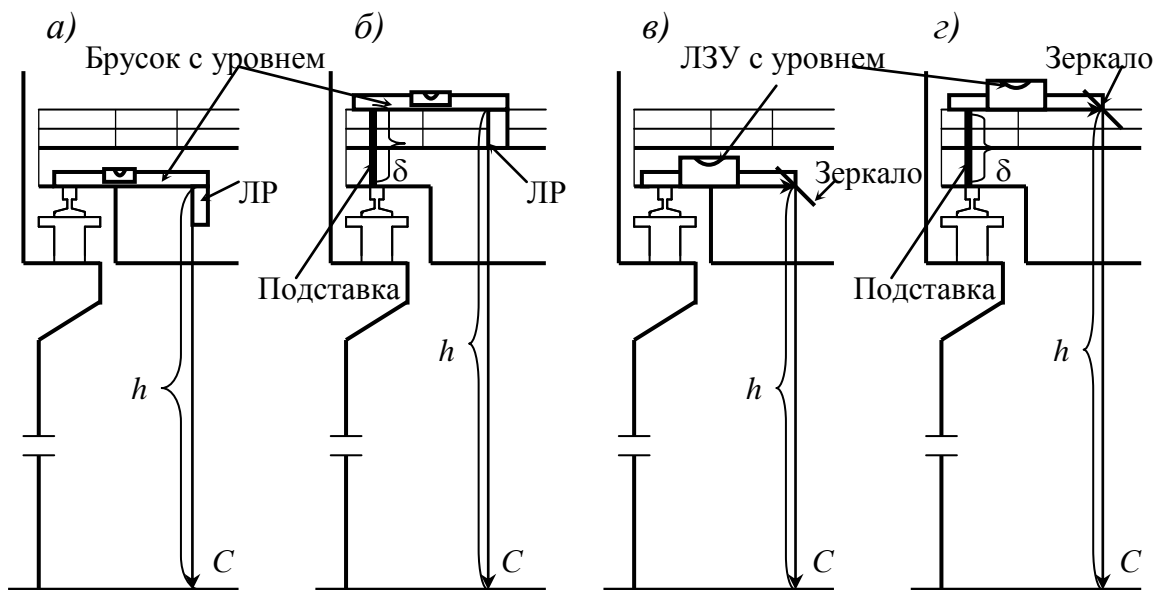


Рис. 66. Схемы нивелирования с помощью лазерной рулетки ЛР (*а*, *б*) и лазерно-зеркального устройства ЛЗУ (*в*, *г*)

Во втором случае (рис. 66, *б*) измерения можно производить непосредственно с моста крана, вычитая из полученных результатов высоту подставки  $\delta$ . 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 ЛЗУ.

Здесь (рис. 66, *в*, *г*) на одном конце бруска закреплено зеркало под углом  $45^\circ$  к направлению лазерного пучка рулетки, установленной на бруске



на известном расстоянии от зеркала. Измерения можно производить как с выходом на подкрановый путь (рис. 66, в), так и непосредственно с моста крана (рис. 66, з).

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  $\delta$ .

#### 4.1.2. Передача отметок с использованием лазерной рулетки

При исследовании пространственного положения подкрановых путей возникает задача передачи геодезических отметок от репера  $R_P$  на поверхности на головки подкрановых рельсов. Для этих целей, как правило, используется подвешенная рулетка, по которой необходимо с помощью нивелира взять отсчёты  $c$  и  $d$  на нижнем и верхнем горизонтах передачи (рис. 67, а).

Недостаток этого 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.

Работы по схеме на рис. 67, б заключается в том, что в точке  $C$  устанавливают нивелир с адаптером, на котором на известном расстоянии  $\delta$  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:

$$H_P = H_{R_P} + a + \delta + h. \quad (68)$$

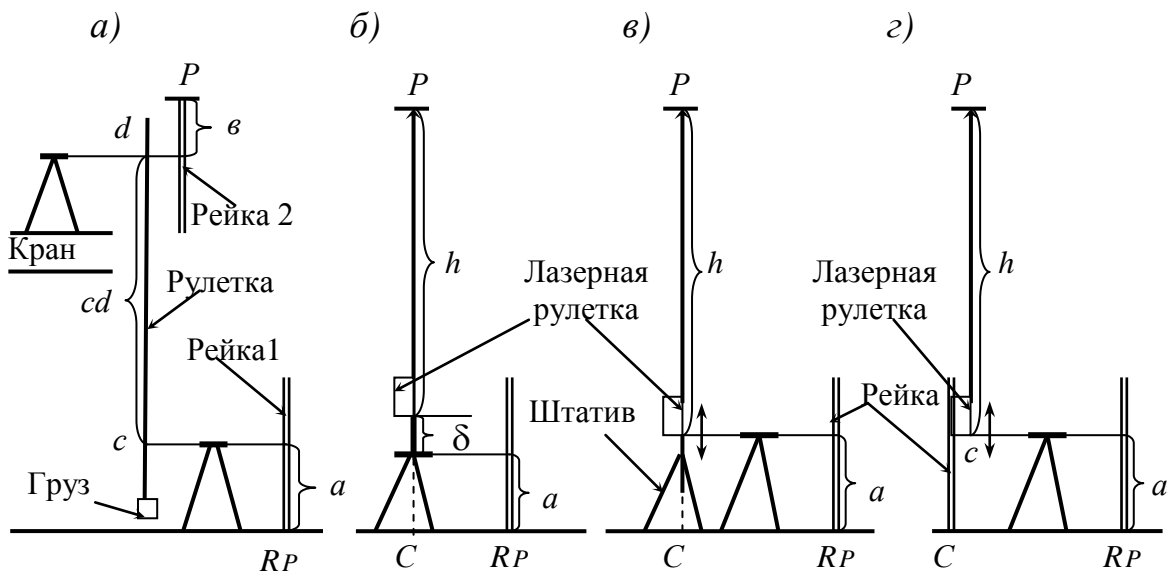


Рис. 67. Схемы передачи отметки: а – обычным способом; б, в, з – с помощью лазерной рулетки

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».

Для устранения этих недостатков можно вместо нивелира с адаптером использовать штатив с выдвижной головкой или обычную рейку. В первом случае (рис. 67, в) 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:

$$H_P = H_{Rp} + a + h. \quad (69)$$

Другой предлагаемый способ (рис. 67, г) 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 (69).

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” автором монографии была опробована методика такой передачи отметки от репера  $R_p$  на головку рельса  $\Gamma$  кранового пути (рис. 68).

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  $\Gamma$ :

$$H_{\Gamma} = H_{Rp} + a + (S_{\text{изм}} - b) + c - d, \quad (70)$$

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

Также был опробован другой способ передачи отметки по схеме на рис. 67, г. Вначале по рейкам брали отсчёты  $a$  и  $b$  (рис. 68). 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 (70) выражению в скобках  $(S_{\text{изм}} - b)$ .

Оба способа дали практически одинаковые результаты, сопоставимые по точности с обычным способом передачи отметки с помощью нивелира и подвешенной рулетки. Кроме того, отметим, что схемы (рис. 67, б, в, г) в некотором видоизмененном виде могут применяться и для передачи отметок сверху вниз (см. рис. 66).

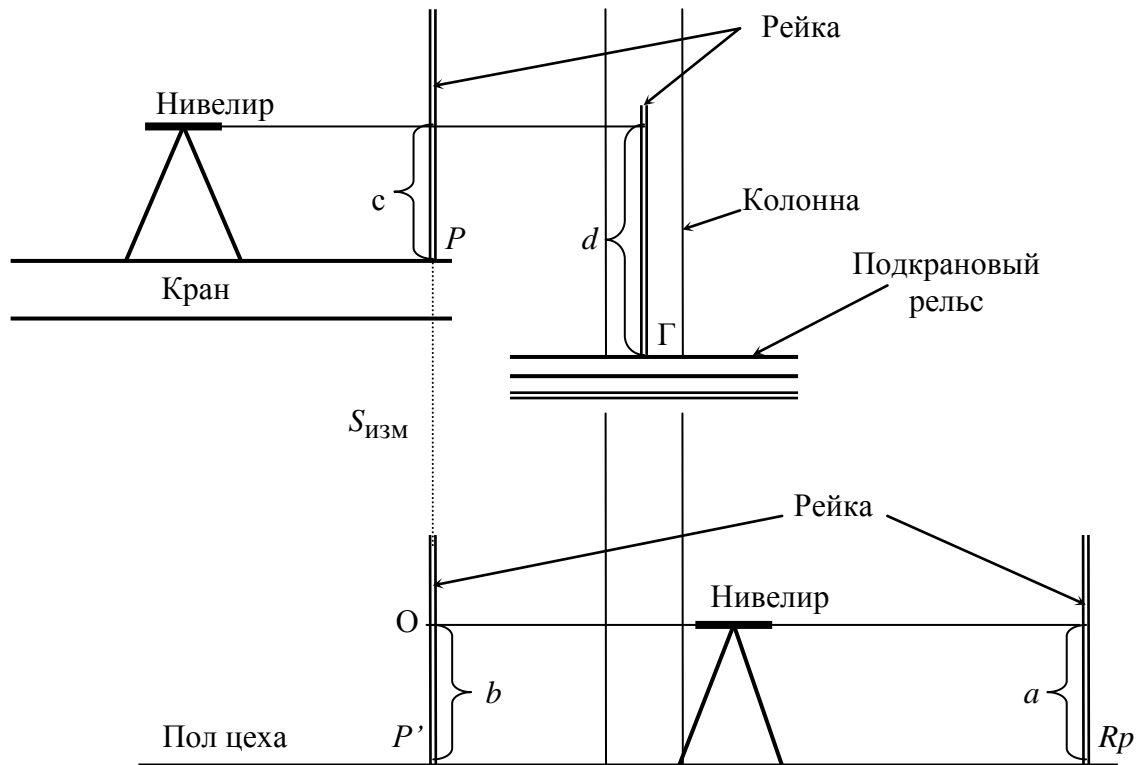


Рис. 68. Схема передачи отметки с помощью нивелира и лазерной рулетки

## 4.2. Тригонометрическое нивелирование

Этот метод высотной съёмки целесообразно применять для труднодоступных и недоступных путей, совмещая его с одновременным определением ширины колеи и непрямолинейности крановых рельсов различными косвенными способами. Для тригонометрического нивелирования могут быть использованы теодолиты или электронные тахеометры.

Как правило, съёмку производят с пола цеха с конечных пунктов базиса методом пространственной засечки, визируя на точки, обозначенные марками (рис. 69, а). По измеренным углам наклона  $\nu_i$  и вычисленным из решения засечек горизонтальным расстояниям  $S_i$  достаточно определить условные высоты  $H_i$ , по которым можно найти продольные и поперечные превышения между смежными точками:

$$h_{i-j} = H_{Ai} - H_{Aj} = S_{Ai} \operatorname{tg} \nu_{Ai} - S_{Aj} \operatorname{tg} \nu_{Aj} ,$$

$$h_{i'-j'} = H_{Ai'} - H_{Bj'} = S_{Bi'} \operatorname{tg} \nu_{Bi'} - S_{Bj'} \operatorname{tg} \nu_{Bj'} , \quad (71)$$

$$h_{i-i'} = H_{Ai} - H_{Bi'} .$$

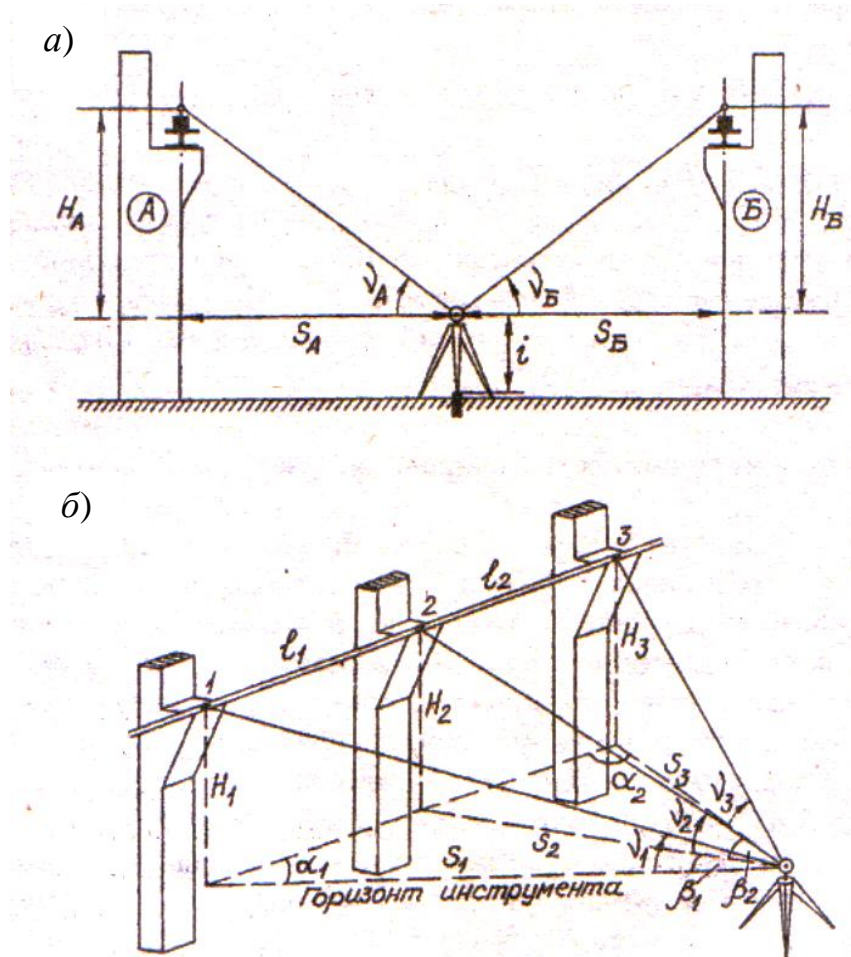


Рис. 69. Тригонометрическое нивелирование с опорных пунктов (а) и с разбивкой базиса на рельсе (б)

Для определения абсолютных отметок необходимо измерить высоту инструмента. При одинаковой высоте визирных марок формула СКО определения превышения будет выглядеть следующим образом:

$$m_h = \sqrt{\frac{m_v^2}{\rho^2 \cos^4 \nu} (S_i + S_j)^2 + 2m_S^2 \operatorname{tg}^2 \nu + m_i^2 + m_{\text{ц}}^2} , \quad (72)$$

где  $m_v$ ,  $m_i$ ,  $m_{\text{ц}}$  и  $m_S$  – СКО соответственно измерения вертикальных углов, высоты инструмента, высоты визирной цели и определения расстояний.

Производству тригонометрического нивелирования должен предшествовать предварительный расчёт ожидаемой точности. Определив по исполнительным планам значения  $S$  и  $\nu$  и, используя формулу (72), необходимо



Для этого, установив прибор в некоторой точке Г (рис. 70) и приведя его в рабочее положение, наводят перекрестие сетки или лазерное пятно на точку 1 и на первой странице режима P1 нажимают клавишу УСТ 0, а затем клавишу РАССТ.

На экране отображаются: измеренное расстояние  $S$  и отсчёты по вертикальному кругу  $Z$  и горизонтальному кругу  $\Gamma_{\text{П}}$ , 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  $h$ . Аналогичным образом определяют превышения, визируя на другие точки. Сравнивая эти превышения между собой, находят превышения между любыми точками.

По этой методике было выполнено нивелирование двух линий В и Г (рис. 59), результаты которого представлены на рис. 71.

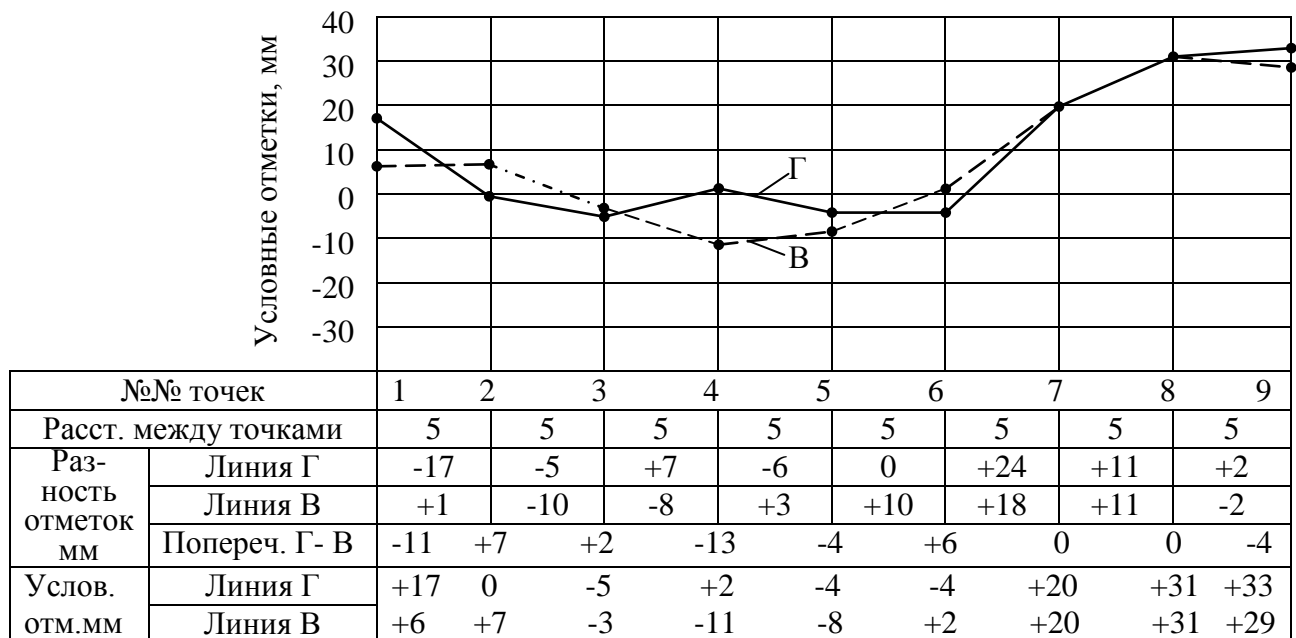


Рис. 71. Результаты нивелирования с использованием клавиши  $SDh$

По методике, представленной на схеме рис. 58, было выполнено нивелирование линий В и Г с использованием клавиши ОНР тахеометра. Для этого были последовательно определены превышения между точкой 2 и всеми остальными. Эти превышения были приняты за условные отметки всех точек съёмки.

Кроме того, при определении ширины колеи (расстояния между линиями В и Г) координатным способом, кроме координат  $x$  и  $y$  были измерены и координаты  $z$  всех точек съёмки. По этим координатам, приняв  $H_2 = 0$ , были вычислены условные отметки точек линии Г:  $H_i = z_i - z_2$  и линии В:  $H_{i'} = z_{i'} - z_2$  (табл. 6).

**Результаты моделирования координатного способа  
нивелирования рельсов**

Точки	Линия Г		Точки	Линия В	
	Координаты $z_i$ , м	Отметки $H_i$ , мм		Координаты $z_{i'}$ , м	Отметки $H_{i'}$ , мм
1	2	3	4	5	6
1	20,020	+17	1'	20,008	+5
2	20,003	0	2'	20,008	+5
3	19,997	-6	3'	20,000	-3
4	20,000	-3	4'	19,991	-12
5	19,999	-4	5'	19,994	-9
6	20,000	-3	6'	20,004	+1
7	20,021	+18	7'	20,022	+19
8	20,033	+30	8'	20,034	+31
9	20,036	+33	9'	20,032	+29

И, наконец, все точки линий В и Г были пронивелированы обычным способом геометрического нивелирования.

По результатам нивелирования были подсчитаны условные отметки всех точек, которые сведены в табл. 7. При этом везде отметка точки 2 была принята равной нулю. Кроме того были найдены отклонения отметок, полученных способами  $SDh$ , ОНР и  $Z$  от таковых, полученных с помощью нивелира.

**Результаты нивелирования различными способами**

Точки	Отметки точек линии Г, мм				Точки	Отметки точек линии В, мм			
	Клавиши		Коорд. $Z$	Нивелир		Клавиши		Коорд. $Z$	Нивелир
	$SDh$	ОНР				$SDh$	ОНР		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$\frac{+17}{+2}$	$\frac{+14}{-2}$	$\frac{+17}{+2}$	+15	1'	$\frac{+6}{+1}$	$\frac{+3}{-2}$	$\frac{+5}{0}$	+5
2	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	0	2'	$\frac{+7}{+2}$	$\frac{+6}{+2}$	$\frac{+5}{0}$	+5
3	$\frac{-5}{0}$	$\frac{-3}{+2}$	$\frac{-6}{-1}$	-5	3'	$\frac{-3}{-1}$	$\frac{0}{-2}$	$\frac{-3}{-1}$	-2
4	$\frac{+2}{+3}$	$\frac{+1}{+2}$	$\frac{-3}{-2}$	-1	4'	$\frac{-11}{-1}$	$\frac{-8}{+2}$	$\frac{-12}{-2}$	-10
5	$\frac{-4}{-1}$	$\frac{-2}{+1}$	$\frac{-4}{-1}$	-3	5'	$\frac{-8}{-2}$	$\frac{-4}{+2}$	$\frac{-9}{-3}$	-6
6	$\frac{-4}{-4}$	$\frac{-2}{-2}$	$\frac{-3}{-3}$	0	6'	$\frac{+2}{-3}$	$\frac{+6}{+1}$	$\frac{+1}{-4}$	+5
7	$\frac{+20}{+20}$	$\frac{+24}{+24}$	$\frac{+18}{+18}$	+24	7'	$\frac{+20}{+20}$	$\frac{+24}{+24}$	$\frac{+19}{+19}$	+25

	-4	0	-6			<u>-5</u>	-1	-6	
8	$\frac{+31}{-2}$	$\frac{+33}{0}$	$\frac{+30}{-3}$	+33	8'	$\frac{+31}{-3}$	$\frac{+34}{0}$	$\frac{+31}{-3}$	+34
9	$\frac{+33}{-3}$	$\frac{+35}{-1}$	$\frac{+33}{-3}$	+36	9'	$\frac{+29}{-2}$	$\frac{+32}{+1}$	$\frac{+29}{-2}$	+31

Примечание: в числителе – условные отметки в мм, в знаменателе – их отклонения от результатов, полученных с помощью нивелира.

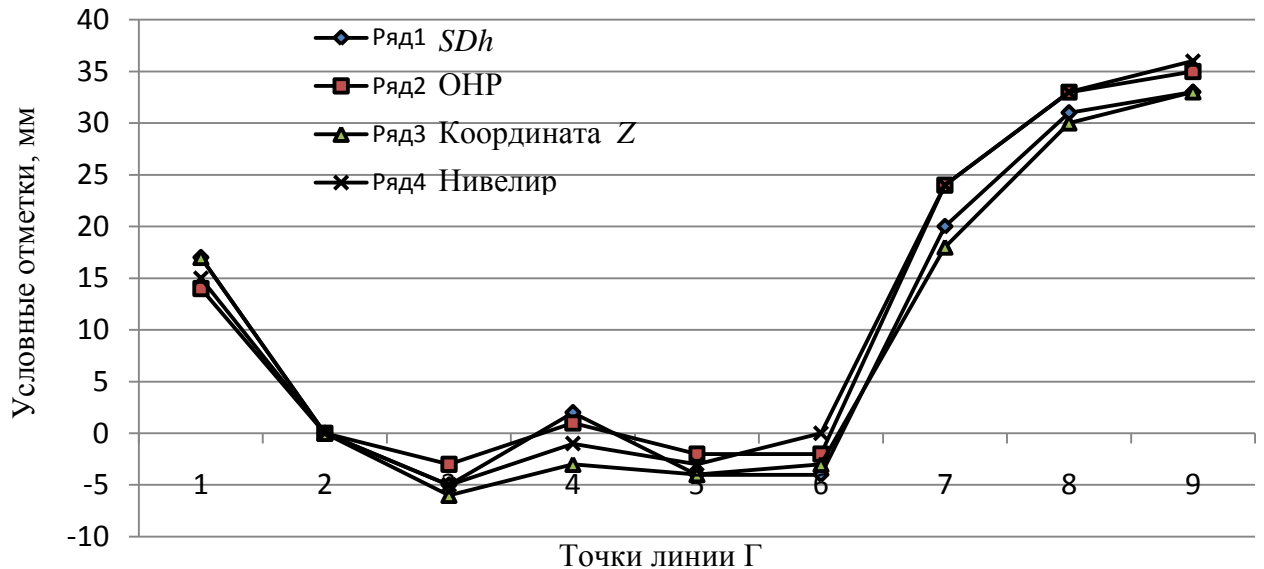


Рис. 72. Продольный профиль по линии Г

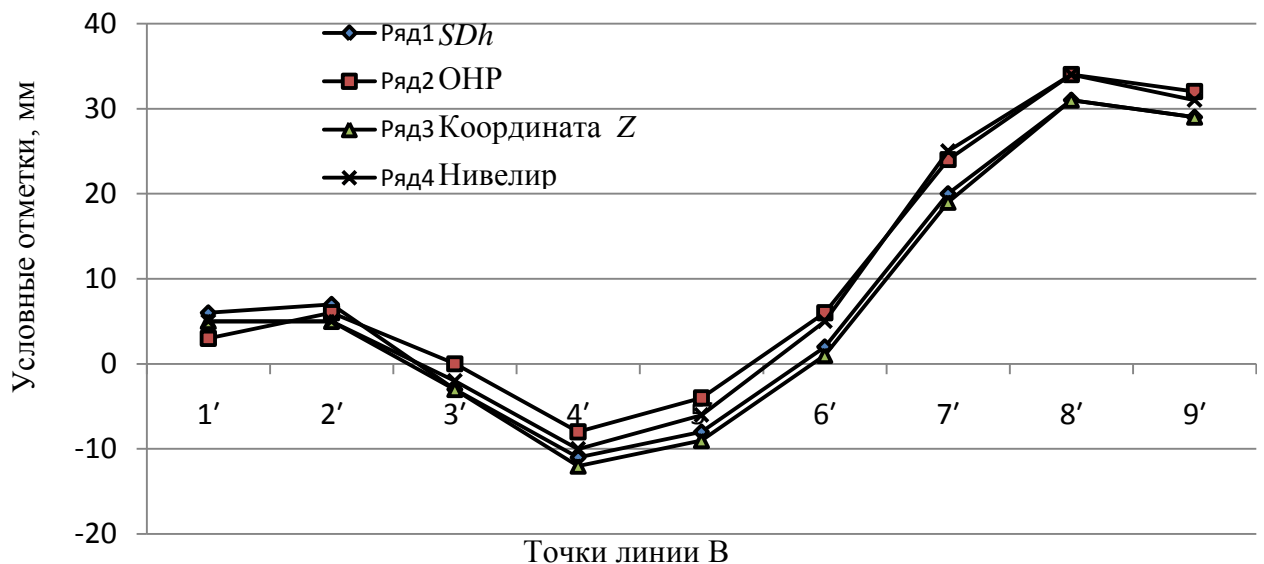


Рис. 73. Продольный профиль по линии В

По данным табл. 6 построены продольные профили по линиям Г и В (рис. 72 и 73), которые наглядно иллюстрируют хорошую сходимость результатов нивелирования между собой. Этот вывод подтверждается также величиной отклонений условных отметок, полученных различными способами от отметок, полученных геометрическим нивелированием. Эти отклонения составили в среднем 2 мм, 1 мм и 2 мм соответственно для *SDh*, ОНР и *Z*.



### 4.3. Гидростатическое нивелирование

Оно основано на принципе сообщающихся сосудов (рис. 74, *a*), согласно которому заполняющая их жидкость устанавливается на одном уровне. Гидростатическая система состоит из соединённых шлангом измерительных трубок с подключённым дополнительным резервуаром, играющим роль компенсатора. Превышение между двумя измерительными трубками, установленными на точках *A* и *B*, будет равно:

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1), \quad (75)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – высоты трубок;  $c_1$  и  $c_2$  – расстояния от поверхности жидкости до краёв трубок.

Для определённой пары трубок  $d_2 - d_1 = k$ , поэтому:

$$h = k - (c_2 - c_1). \quad (76)$$

Величину  $k$  определяют путём двойного гидростатического нивелирования точек *A* и *B*:

$$k = \frac{1}{2} [(c_2 - c_1) + (c_2' - c_1')]. \quad (77)$$

Для гидростатической системы лучшей жидкостью является дистиллированная вода, слегка подкрашенная в розовый цвет и содержащая 3-5% спирта.

Гидростатическая система, состоящая из четырёх соединённых между собой измерительных трубок, позволяет определять как высотное положение каждой рельсовой нити, так и перепад высот между рельсами. Нивелирование осуществляется путём последовательного перемещения крана (рис. 74, *b*), на концевых балках которого над рельсами закрепляются четыре специальных прибора.

Каждый прибор (рис. 74, *в*) при помощи кронштейна 1 с втулкой 2 крепится к балке крана. Проходящая через втулку цилиндрическая штанга 3 в своей верхней части заканчивается основанием, на котором закреплена измерительная трубка. Штанга пружиной 5 прижимается к головке подкранового рельса. Винт 4 служит для фиксации штанги в поднятом положении при перемещении крана.

Перед началом работ измерительные трубки совместно с цилиндрическими штангами калибруются, то есть для всех трубок подбирается длина штанги, нижний срез которой соответствует нулевому индексу или началу счёта принятой шкалы делений.

Мостовой кран устанавливают так, чтобы приборы находились против колонн, и производят отсчёты по низу вогнутого мениска по миллиметровой шкале. Для повышения точности отсчёта можно на измерительные трубки нанести две шкалы, расположенные на лицевой и противоположной сторонах

трубки. Если шаг колонн превышает базу крана, то на рельсах в местах измерения отмечают точки, в которых устанавливают кран при последующих измерениях с точностью 0,1-0,2 м, образуя самостоятельные полигоны 1-2-3-4, 1'-2'-3'-4' и т.д. на всём протяжении кранового пути.

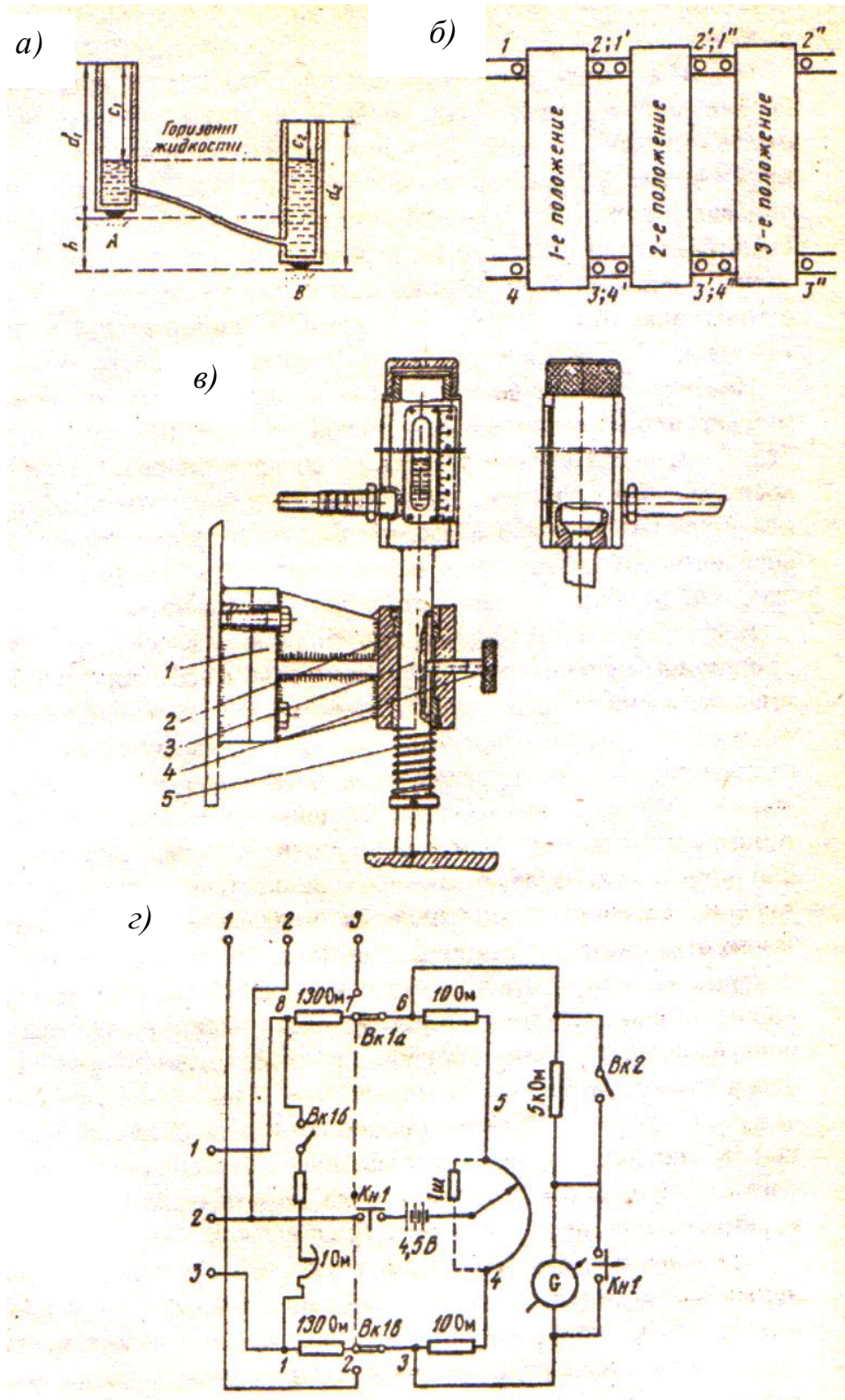


Рис. 74. Гидростатическое нивелирование (а) с установкой на кране (б) прибора (в) и схема электрической регистрации (г)

Нивелирование рельсов можно производить и без крана с помощью гидронивелиров с визуальной регистрацией типа УГС модели 115 с установкой измерительных сосудов непосредственно на головку рельсов. Причём, при измерении поперечных превышений, для предотвращения возможного разрыва шланга и уменьшения провисания необходимо скрепить его с тросиком, который при помощи скоб или струбцин закрепляют на противоположных рельсах.

В работе [21] разработан гидростатический нивелир с дистанционным отсчитыванием разности уровней жидкости в измерительных сосудах, являющейся превышением между точками их установки.

На рис. 74, *г* представлена электрическая схема этого прибора. В каждом его сосуде вмонтирована пара электродов из нихромовой проволоки. Обе пары электродов включены в электрическую цепь с автономным питанием. Изменение уровня в трубке вызывает изменение длины электродов, омываемых жидкостью, и, следовательно, изменение величины сопротивления омываемой части электродов. Жидкость, омывая электроды, замыкает электрическую цепь, и на измеритель поступают электрические сигналы, величина которых пропорциональна длине омываемой части электродов.

Два сигнала, поступающие от обоих сосудов, алгебраически суммируются в измерительной цепи и по шкале измерителя отсчитывается общая величина сигнала, которая пропорциональна разности высот уровней в сосудах, то есть превышению. Измерение электрического сигнала осуществляется с помощью электрического моста, шкала переменного резистора которого градуирована в мм.

Основным преимуществом гидростатического нивелирования является его независимость от вибраций и колебаний строительных конструкций, конвекций воздушной среды, возможность одновременного нивелирования нескольких точек. Существует большое число публикаций, посвящённых совершенствованию этого способа (гидронивелирование с перетеканием жидкости в одну измерительную головку; двойная гидродинамическая система; двухжидкостный нивелир с преобразователем массы; многоуровневая двойная гидродинамическая система).

Однако, ввиду громоздкости аппаратуры и сложности её настройки, гидростатическое нивелирование подкрановых путей не получило применения на практике. В качестве примера мы можем привести лишь работу [73]. Здесь для контроля положения подкрановых путей мостового крана были использованы три гидростатических датчика с диапазоном работы 18 мм и со звуковой сигнализацией момента контакта измерительного штока с уровнем жидкости. Датчики устанавливались на концевых балках крана, образуя единую гидростатическую систему, заполняемую кипячёной водой с добавкой формалина. Для контроля выполнялось геометрическое нивелирование подкрановых рельсов. СКО определения превышения методом гидростатического нивелирования по сравнению с геометрическим составила в продольном направлении 1,1 мм, в поперечном – 1,9 мм.

#### 4.4. Фотографический способ нивелирования

Фотографический способ нивелирования [140] основан на использовании вертикального базиса известной длины  $b_B$  (рис. 75). Так, установив фотокамеру в начальной точке  $O$  линии на высоте равной  $b_B/2$ , фотографируют установленный в конечной точке  $K$  этой линии вертикальный базис так, чтобы его изображение располагалось в центральной части снимка. Затем, при неподвижном положении фотокамеры фотографируют базис, устанавливаемый последовательно в точках  $L, M, \dots$  этой линии.

Каждую фотографию выводят на экран монитора и открывают файлы с помощью *Paint*. Подводя курсор к верхнему и нижнему концам базиса, отсчитывают количество пикселей  $V_{K,L,M,\dots}$  и  $H_{K,L,M,\dots}$ , соответствующих каждому положению курсора.

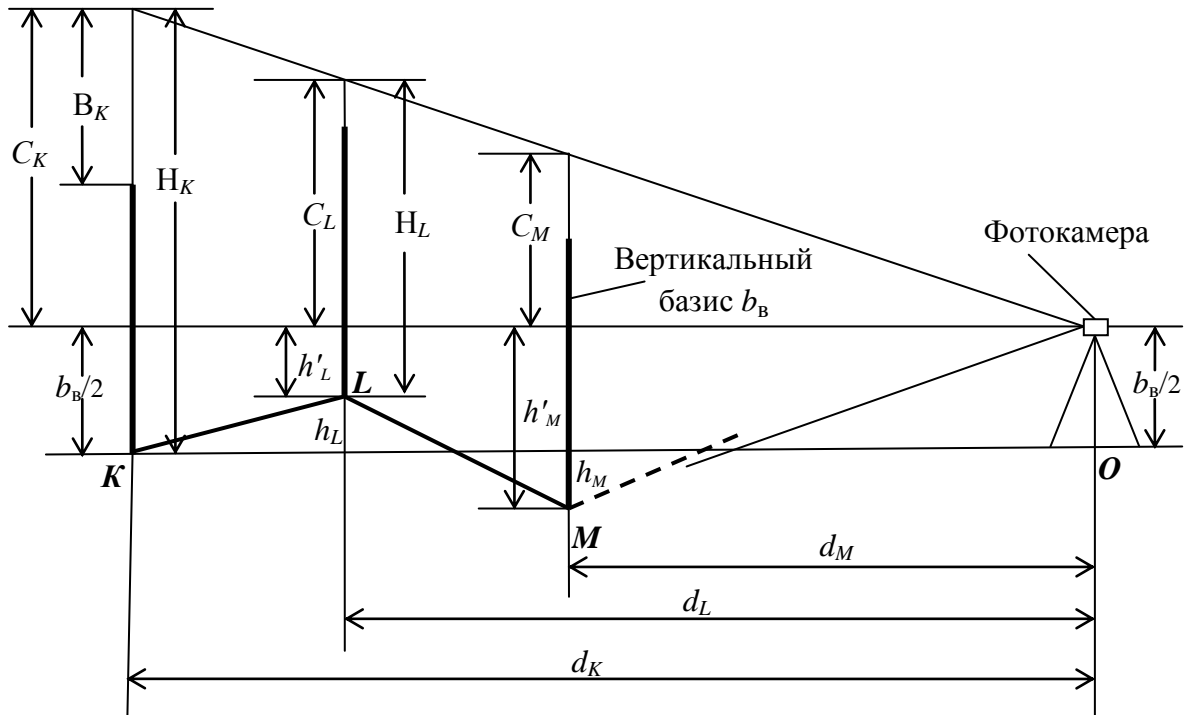


Рис. 75. Схема фотографического способа нивелирования

Находят количество пикселей соответствующих длине базиса  $\Delta_{K,L,M,\dots} = H_{K,L,M,\dots} - V_{K,L,M,\dots}$  и определяют, во-первых, размер одного пикселя  $\delta_{K,L,M,\dots} = b_B / \Delta_{K,L,M,\dots}$  соответствующий конкретному расстоянию  $d$  от фотокамеры до вертикальной рейки. Во-вторых, находят  $C_K = (B_K + H_K) / 2$  и определяют расстояния  $d_K, d_L, d_M, \dots$ . Из схемы на рис. 75 видно, что  $h'_L = H_L - C_L$ . В свою очередь из подобия треугольников с основаниями  $C_K$  и  $C_L$  вытекает равенство  $C_L = d_L C_K / d_K$ , поэтому превышение  $h_L$  точки  $L$  над линией  $KO$  можно найти как разность  $b_B/2 - h'_L$  или, выражая количество пикселей в метрической системе единиц, получим:

$$h_L = b_B/2 - (H_L - d_L C_K / d_K) \delta_L. \quad (78)$$

Аналогичным образом можно вычислить превышение  $h_M$  точки  $M$  над линией  $KO$ , которое в соответствии с рис. 75 будет иметь знак минус:

$$h_M = b_B/2 - (H_M - d_M C_K/d_K) \delta_M, \quad (79)$$

и так для всех нивелируемых точек. Если известно превышение между точками  $K$  и  $O$ , то превышения  $h_L, h_M, \dots$  могут быть пересчитаны в таковые относительно горизонтальной линии.

По схеме приведенной на рис. 75 было выполнено фотографическое нивелирование произвольной линии в диапазоне 3-30 м, результаты которого были сравнены с результатами геометрического нивелирования с помощью нивелира 2Н-3Л (рис. 76).

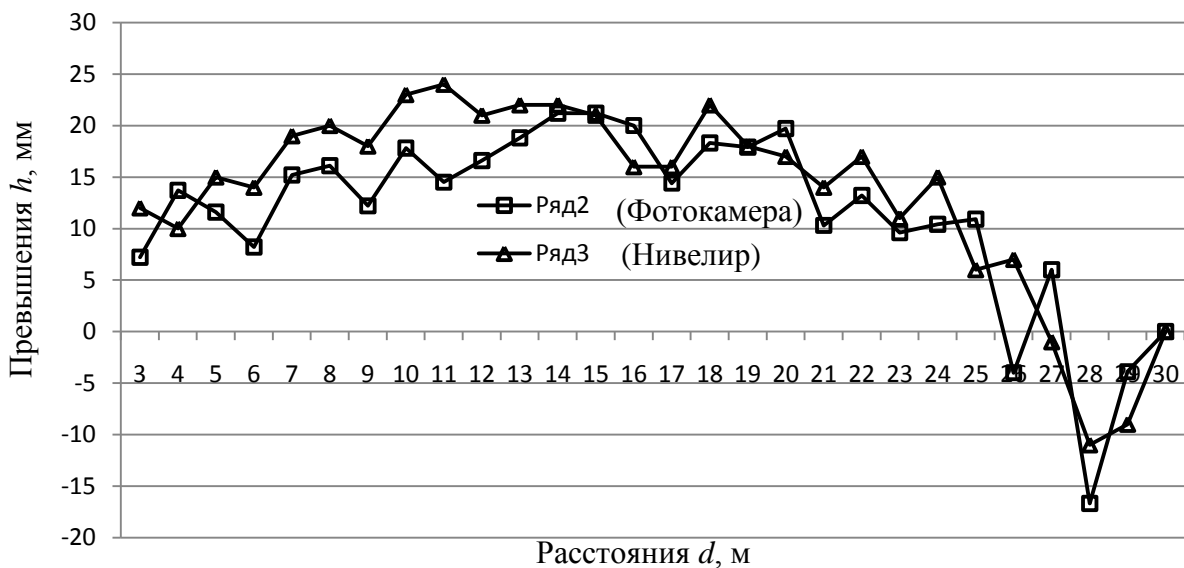


Рис. 76. Продольный профиль линии 3-30 м

Расхождения оказались в пределах от  $-3,8$  до  $+4,0$  мм. Это можно объяснить тем, что каждую фотографию выводили на экран монитора и открывают файлы с помощью *Paint*, без обработки снимков в специальном программном обеспечении *Camera Raw* и *PhotoMod Lite*.

В качестве базисов можно использовать сразу, например, две нивелирные 1,5 – метровые рейки, скреплённые между собой в центральной их части в виде «креста» (рис. 77). В этом случае можно совместить две операции: фотографические способы определения непрямолинейности и нивелирования подкрановых рельсов, с одновременным контролем расстояния, определяемого по двум базисам.

С целью определения возможности использования и предварительной оценки точности была опробована другая методика фотографического способа нивелирования и выполнено соответствующее моделирование. В качестве модели выступали две параллельные линии в коридоре третьего этажа 5 корпуса ННГАСУ. На левой (рис. 78, а) и правой (рис. 78, б) линиях были закреплены по 9 точек через 5-метровый интервал.



Рис. 77. «Крест» для фотографическое способа контроля планово-высотного положения подкрановых рельсов.

Методика моделирования заключалась в следующем [139]. Фотоаппарат центрировали в начальной точке линии (станция 1). Определяли «высоту инструмента» от точки стояния до центра объектива. Устанавливали в конце линии (станция  $n$ ) вертикально нивелирную рейку, ориентировали оптическую ось фотоаппарата на отсчёт по рейке, равный «высоте инструмента» и фотографировали рейку.

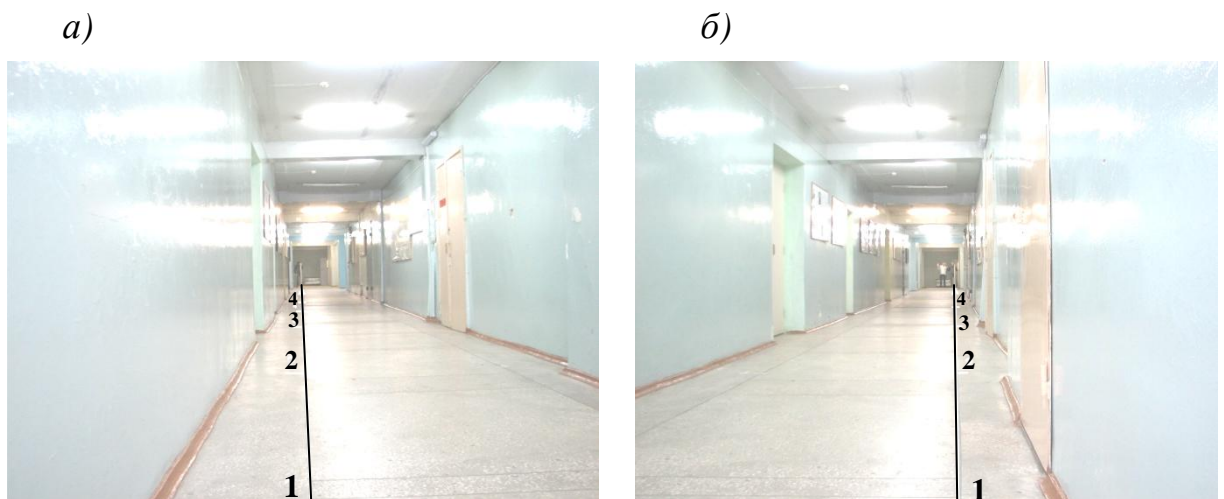


Рис. 78. Схема закрепления точек на линиях

Такое фотографирование при неизменном положении фотокамеры осуществляли, устанавливая последовательно рейку в заданных точках съёмки. Фотографирование выполнялось с помощью аппарата *Canon PowerShot*

S2 IS. Полученные снимки обрабатывались на компьютере с использованием программы *Paint.NET*. Для перехода от значений в пикселях к метрической системе единиц необходимо произвести масштабирование каждого снимка следующим образом.

С помощью пункта меню **Вид** устанавливается режим **Пиксели**. На окне инструментов выбирается инструмент **Выбор прямоугольной области**.левой кнопкой мыши выделяется часть нивелирной рейки с известным отсчётом (рис. 79).

В строке состояния отобразится размер выделенной области (например: 53 \* 393, что соответствует 53 пикселям по горизонтали, 393 пикселям по вертикали). Чтобы определить масштаб, необходимо отсчёт по нивелирной рейке разделить на количество пикселей.

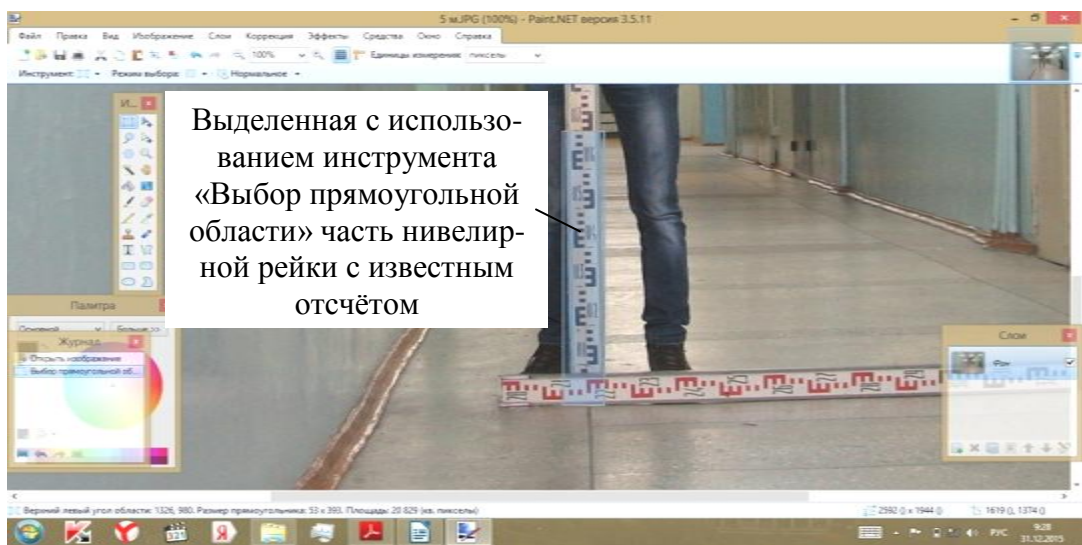


Рис. 79. Обработка фотографий в программе *Paint.NET* на этапе масштабирования

Результаты масштабирования снимков по вертикальной и (для сравнения) по горизонтальной рейкам представлены в табл. 8 и 9.

Т а б л и ц а 8

### Масштабирование снимков по вертикальной рейке

Расстояние, м	Левая линия			Правая линия		
	Отсчёт по рейке		$\delta$ , мм/пкс	Отсчёт по рейке		$\delta$ , мм/пкс
	пкс	мм		пкс	мм	
5	423	750	1,77	420	750	1,79
10	210	750	3,57	210	750	3,57
15	140	750	5,36	141	750	5,32
20	106	750	7,08	104	750	7,21
25	84	750	8,93	854	750	8,82
30	71	750	10,56	71	750	10,56
35	60	750	12,50	61	750	12,30
40	53	750	14,15	52	750	14,42

### Масштабирование снимков по горизонтальной рейке

Расстояние, м	Левая линия			Правая линия		
	Отсчёт по рейке		$\delta$ , мм/пкс	Отсчёт по рейке		$\delta$ , мм/пкс
	пкс	мм		пкс	мм	
5	226	400	1,77	227	400	1,76
10	112	400	3,57	112	400	3,57
15	75	400	5,33	75	400	5,33
20	56	400	7,14	56	400	7,14
25	45	400	8,89	45	400	8,89
30	38	400	10,53	38	400	10,53
35	32	400	12,50	32	400	12,50
40	28	400	14,29	28	400	14,29

На основании данных этих таблиц установлено, что размер пикселя  $\delta$  оказался практически одинаковым, не зависящим от размера базисов и их горизонтального или вертикального расположения.

Методика осуществления фотографического способа нивелирования предусматривает закрепление вертикального базиса на снимке последней станции. Для этого на фотографии последней станции находим отсчёт, на который производилось ориентирование (рис. 80а).

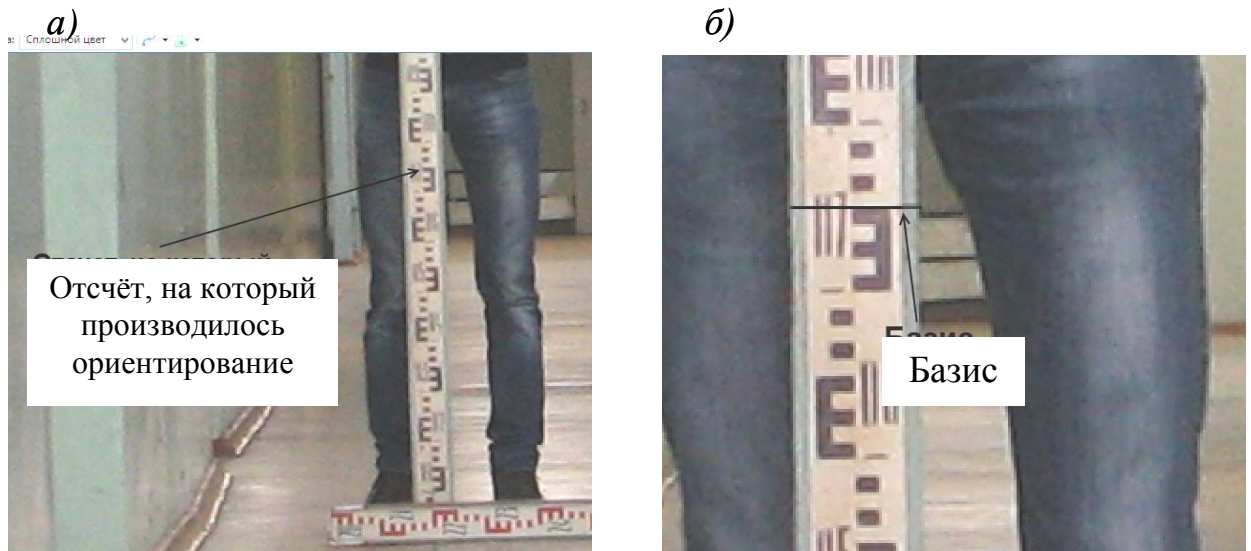


Рис. 80. Обработка фотографий в программе *Paint.NET* на этапе закрепления базиса

Выбираем инструмент **Линия** и проводим прямую (базис) на этом отсчёте, который в нашем случае был равен 750 мм (рис. 80, б). Затем производится последовательное наложение фотографий станций  $(n-1)$ ,  $(n-2)$  и т. д. на фотографию станции  $n$ .

Наложение фотографий осуществляется следующим образом. В строке меню **Слои** необходимо выбрать пункт **Импорт из файла** (рис. 81, а) и от-



крыть требуемую фотографию. Затем в строке меню **Слой**, выбрав пункт **Свойства слоя** (рис. 81, а), установить в открывшемся окне (рис. 81, б) режим **Нормальный**, прозрачность слоя в интервале 100 – 130. В итоге на экране отобразятся обе фотографии.

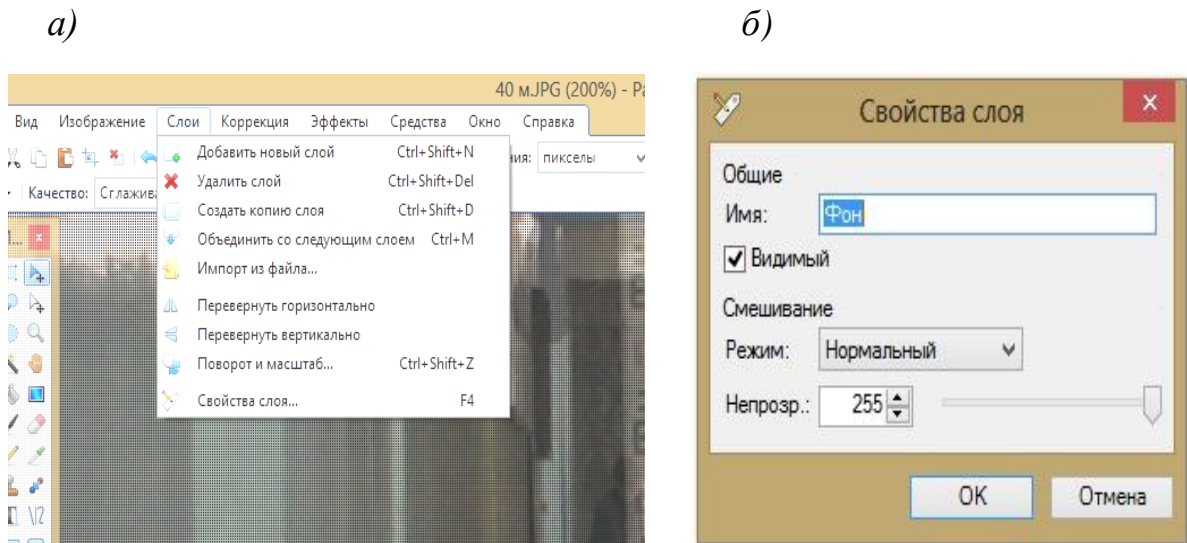


Рис. 81. Обработка снимков в программе *Paint.NET* на этапе наложения фотографий

Наконец, используя инструмент **Выбор прямоугольной области**, необходимо левой кнопкой мыши выделить часть нивелирной рейки от отсчёта, на который производилось ориентирование фотоаппарата, до закрепленного базиса. Полученное по вертикали число пикселей  $\Delta_B$  (рис. 82) необходимо прибавить к отсчёту ориентирования, если базис выше его, или вычесть  $\Delta_B$  из отсчёта ориентирования, если базис ниже этого отсчёта.

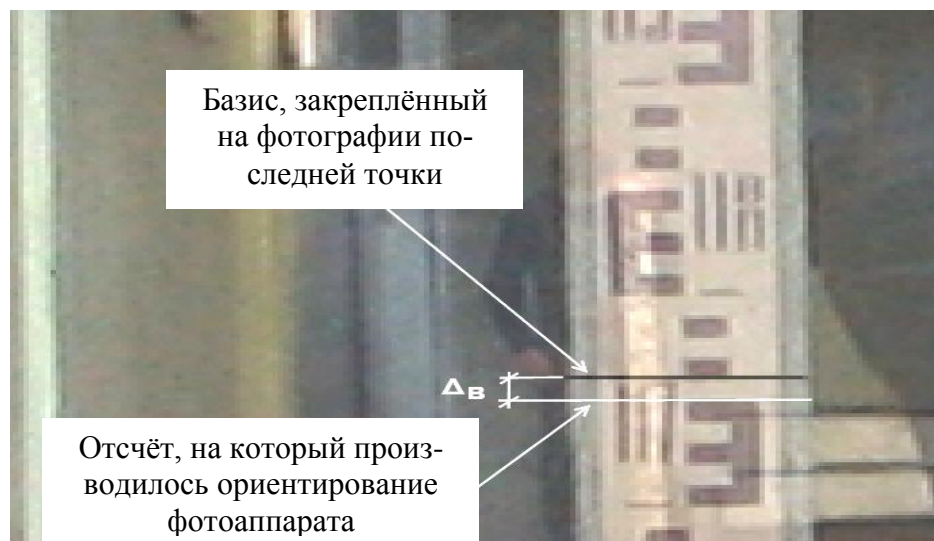


Рис. 82. Обработка снимков в программе *Paint.NET* на этапе определения превышения

Полученные таким образом данные заносят в таблицу, производят перевод полученных измерений в метрическую систему единиц и вычисляют превышения между нивелируемыми точками.

По изложенной выше методике было выполнено фотографическое нивелирование точек левой и правой линий (табл. 10 и 11).

Т а б л и ц а 10

**Результаты нивелирования левой линии**

Расстояние, м	Отсчёт (фото) $\Delta_B$		Отсчёт ориентирования	Отсчёт по рейке (фото), мм	Превышение (фото), мм	Отсчёт (нивелирование), мм	Превышение (нивелир), мм	$\Delta$ , мм
	пкс	мм						
0	-	-	750	750,00	0,00	1346	0	0,0
5	7	12,41	750	762,41	12,4	1357	11	1,4
10	7	25,00	750	775,00	12,6	1368	11	1,6
15	5	26,79	750	776,79	1,8	1371	3	-1,2
20	4	28,30	750	778,30	1,5	1377	6	-4,5
25	4	35,71	750	785,71	7,4	1383	6	1,4
30	1	10,56	750	760,56	-25,2	1354	-29	3,8
35	1	12,50	750	762,50	1,9	1358	4	-2,1
40	-	0,00	750	750,00	-12,5	1346	-12	-0,5

Т а б л и ц а 11

**Результаты нивелирования правой линии**

Расстояние, м	Отсчёт (фото) $\Delta_B$		Отсчёт ориентирования	Отсчёт по рейке (фото), мм	Превышение (фото), мм	Отсчёт (нивелирование), мм	Превышение (нивелир), мм	$\Delta$ , мм
	пкс	мм						
0	-	-	750	750,00	0,00	1344	0	0,0
5	3	5,36	750	755,36	5,4	1348	4	1,4
10	3	10,71	750	760,71	5,4	1357	9	-3,6
15	3	15,96	750	765,96	5,2	1365	8	-2,8
20	3	21,63	750	771,63	5,7	1373	8	-2,3
25	1	8,82	750	758,82	-12,8	1361	-12	-0,8
30	0	0,00	750	750,00	-8,8	1351	-10	1,2
35	1	12,30	750	762,30	12,3	1358	7	5,3
40	-	0,00	750	750,00	-12,3	1344	-14	1,7

С целью контроля было произведено нивелирование этих точек с помощью нивелира 2Н-3Л. Для этого нивелир устанавливали в точке 1, измеряли «высоту инструмента» и наводили среднюю нить сетки на отсчёт по рейке, установленной в точке  $n$ , равный «высоте инструмента». Затем, при неизменном положении визирной оси нивелира, брали отсчёты по рейке, установ-

ливаемой последовательно в точках  $(n-1)$ ,  $(n-2)$  и т. д. Полученные данные представлены в табл. 16 и 17 и отражены на графиках (рис. 83 и 84).

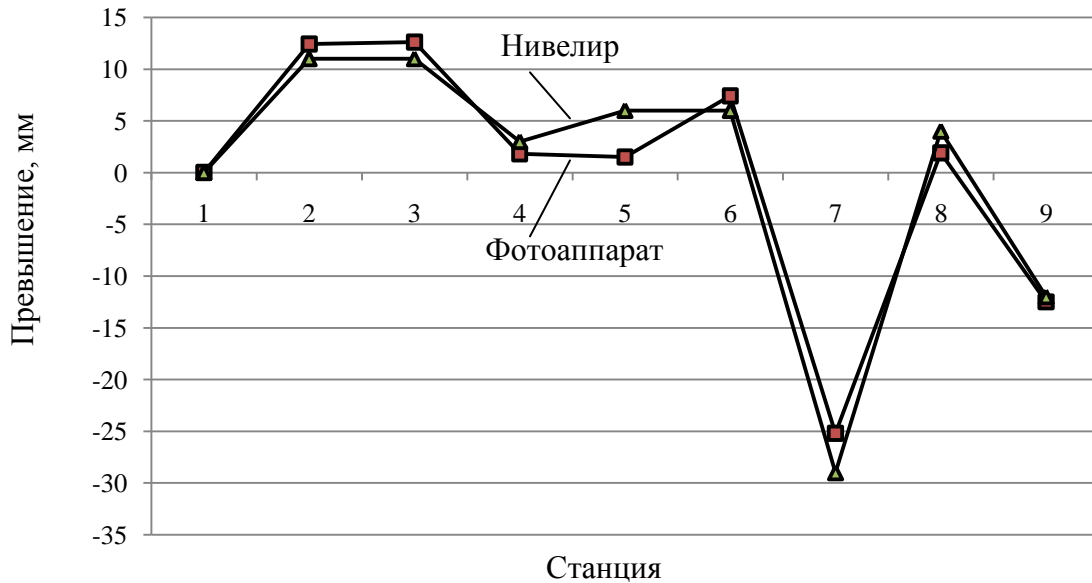


Рис. 83. Продольный профиль левой линии

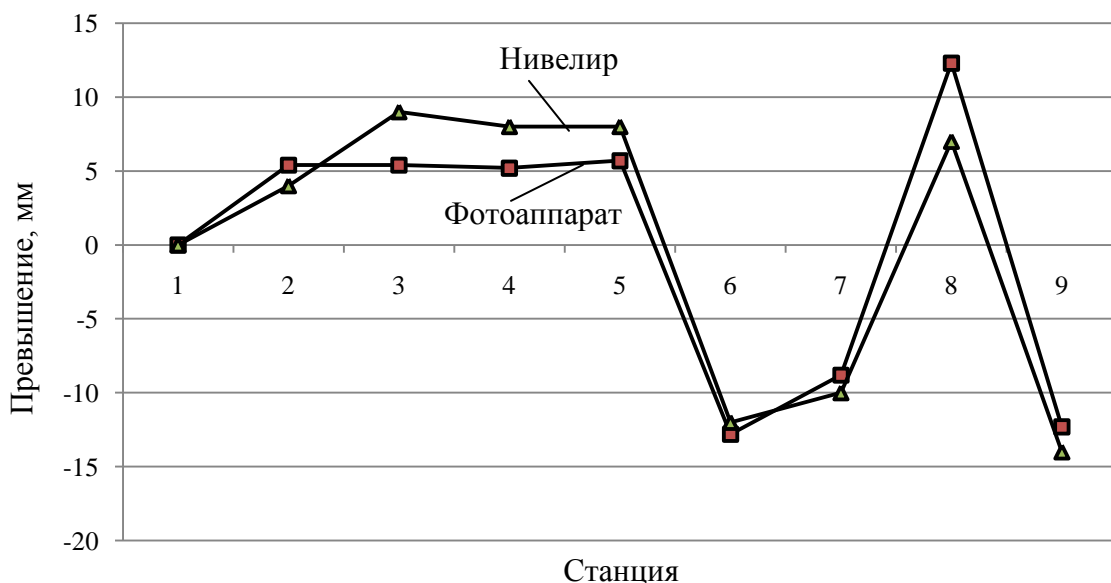


Рис. 84. Продольный профиль правой линии

Анализ данных табл. 10 и 11 и графиков (рис. 83 и 84) показывает хорошую сходимость результатов фотографического и геометрического способов нивелирования.

#### 4.5. Комплексный контроль подкрановых путей

Как отмечалось выше в разделе 1.3., комплексный контроль подкрановых путей предусматривает одновременное определение их планово-высотного положения. Наиболее просто такой контроль может осуществляться с помощью современных электронных тахеометров. Он предусматри-

вает в конечном итоге определение координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  осевых точек подкрановых рельсов методом полярной пространственной засечки.

Нами (рис. 59) было выполнено моделирование комплексного метода контроля подкрановых рельсов. По полученным прямоугольным координатам  $x$  и  $y$  определяют графически или вычисляют отклонения оси рельсов от прямой линии (рис. 45), а по координатам  $z$  (табл. 6) определяют условные отметки точек съёмки. Оформленные воедино эти данные представляют собой результат комплексного планово-высотного контроля подкрановых путей. Пример такого оформления представлен на рис. 85.

Ещё в 1980 году появилась информация о системе *GEO<sup>2</sup>-SUW-KRES* для графического построения данных геодезической съёмки подкрановых путей, содержащаяся в работе [149]. Система позволяла автоматически вычерчивать графики, характеризующие положение подкрановых рельсов в горизонтальной плоскости. Программа была составлена на языке *BASIC 2200* для её реализации на мини-ЭВМ 2200. В зависимости от количества измерений на построение графиков двух рельсовых нитей требовалось 5-10 минут.

Нами [132] в сентябре-октябре 1998 года была выполнена геодезическая съёмка подкрановых путей мостовых кранов плавильных участков и шихтовых дворов литейных цехов ОАО «ГАЗ». Всего было проконтролировано 14 рабочих зон длиной от 30 до 180 м с шириной колеи рельсового пути от 16500 мм до 33000 мм. Для геометрической интерпретации результатов съёмки по форме на рис. 85 была разработана её компьютерная версия, основанная на использовании электронных таблиц *MS Excel*. Для её реализации необходимо было ввести в таблицу следующие исходные данные: номера осей колонн; расстояние между колоннами; название осей рельсов; отсчёты по нивелирным рейкам; проектную ширину колеи; измеренную ширину колеи; измеренные расстояния от оптического створа до оси одного из рельсов (см. рис. 3,  $a$ ). В результате на экране монитора ПК получали наглядное представление о планово-высотном положении подкранового пути аналогичное рис. 85. В настоящее время такие построения могут выполняться, например, с использованием программы *CREDO* Топоплан, *CREDO* Расчёт деформаций и др.

Оценка точности результатов комплексного контроля подкрановых путей осуществляется следующим образом [133]. Зная условный дирекционный угол  $\alpha$ , угол наклона  $\delta$  и наклонное расстояние  $S$  на каждую съёмочную точку, можно определить коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$  исходных уравнений ошибок для любой съёмочной точки:

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

$$a_\delta = g \cos \alpha \sin \delta, \quad b_\delta = g \sin \alpha \sin \delta, \quad c_\delta = -g \cos \delta, \quad (80)$$

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

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

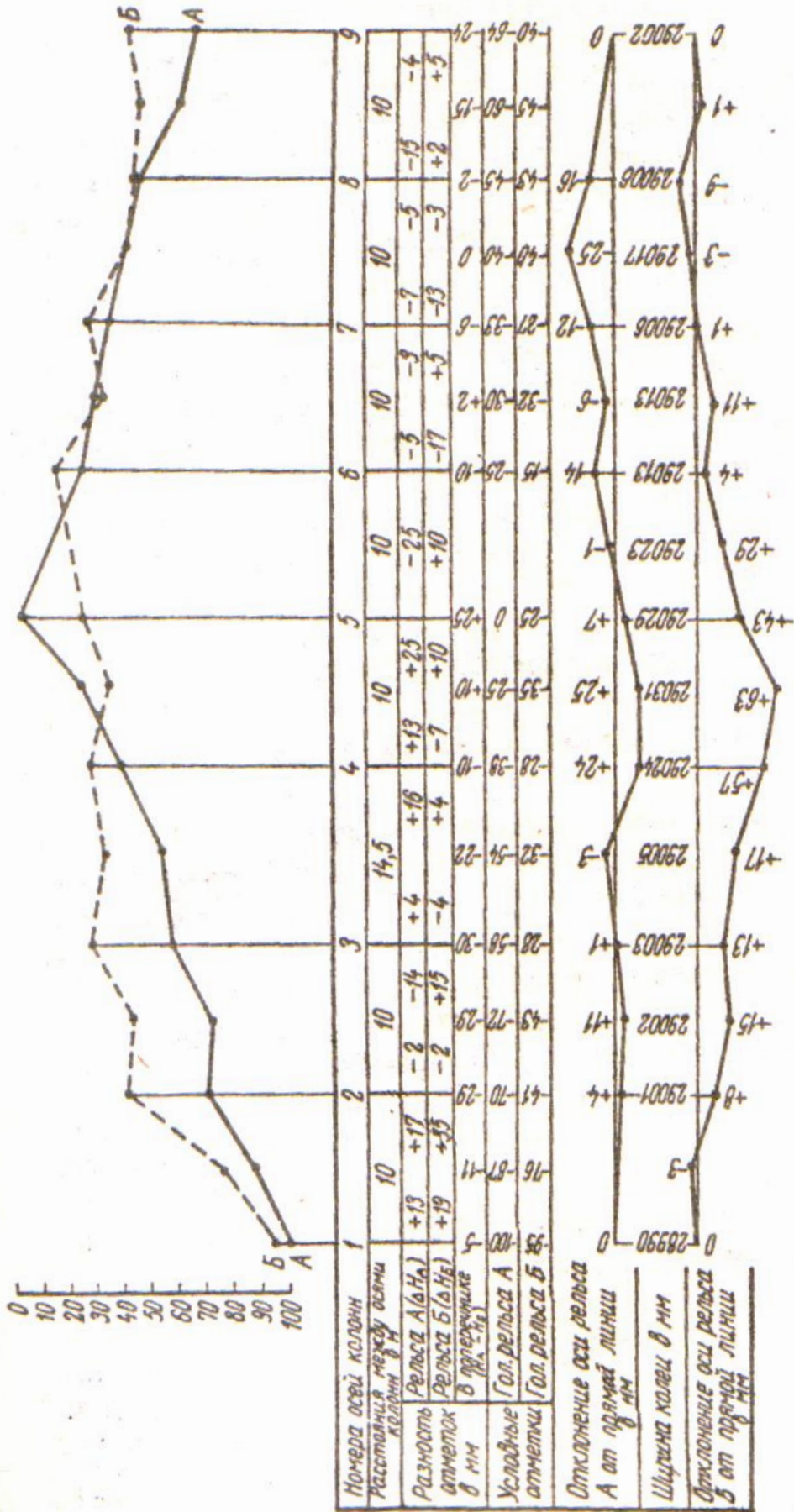


Рис. 85. График планово-высотного положения подкрановых путей

Затем следует составить матрицу  $A$  коэффициентов исходных уравнений ошибок:

$$A = \begin{pmatrix} a_\alpha & b_\alpha & c_\alpha \\ a_\delta & b_\delta & c_\delta \\ a_s & b_s & c_s \end{pmatrix}, \quad (81)$$

и найти матрицу  $N$  коэффициентов системы нормальных уравнений:

$$N = A^T A = \begin{pmatrix} [aa] & [ab] & [ac] \\ [ab] & [bb] & [bc] \\ [ac] & [bc] & [cc] \end{pmatrix}, \quad (82)$$

Для этого вначале найдём матрицы  $N_{уг}$  и  $N_{лин}$ , относящиеся соответственно только к угловым и только к линейным измерениям. Саму матрицу  $N$  можно получить следующим образом:

$$N = N_{лин} + p_{\alpha,\beta} N_{уг}, \quad (\text{при } p_s = 1),$$

$$N = p_s N_{лин} + N_{уг}, \quad (\text{при } p_{\alpha,\beta} = 1), \quad (83)$$

$$N = p_s N_{лин} + p_{\alpha,\beta} N_{уг}, \quad (\text{при } p_s \neq p_{\alpha,\beta} \neq 1).$$

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  $\mu$  – средняя квадратическая ошибка единицы веса;  $m_{\alpha,\delta}$  – СКО измерения  $\alpha$  и  $\delta$ . 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  $\mu$  и  $m_{\alpha,\delta,s}$  должны в обязательном порядке соответствовать размерности градиентов  $g$  в формулах (80). Так, если эти градиенты имеют размерность с/мм, то и  $\mu$ ,  $m_{\alpha,\delta}$  (при  $p_{\alpha,\delta} = 1$ ) должны быть выражены в секундах, а  $m_s$  – в миллиметрах. При  $p_s = 1$  размерности  $\mu$  и  $m_s$  в миллиметрах, а  $m_{\alpha,\delta}$  – в секундах.

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

$$K = \mu^2 Q = \mu^2 N^{-1} = \mu^2 \begin{pmatrix} Q_{xx} & Q_{xy} & Q_{xz} \\ Q_{xy} & Q_{yy} & Q_{yz} \\ Q_{xz} & Q_{yz} & Q_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x^2 & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{xy} & m_y^2 & m_{yz} \\ m_{xz} & m_{yz} & m_z^2 \end{pmatrix}, \quad (84)$$

где  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  – СКО съёмочной точки по осям координат;  $m_{xy}$ ,  $m$ ,  $m_{yz}$  – кофакторы (корреляционные моменты).

Полученная таким образом ковариационная матрица  $K$  считается наиболее полной оценкой точности положения точки в трёхмерном

пространстве. Однако такая форма представления точности недостаточно наглядна, зависит от ориентировки координатных осей и, вообще говоря, малоинформативна. В этом отношении представляет интерес методика оценки точности съёмочных точек по заданным направлениям, в том числе ориентированным относительно подкрановых путей.

Такая методика, основанная на геометрической интерпретации ошибки положения определяемых точек с помощью окружности СКО, подробно изложена в наших работах [124, 141]. Эта окружность характеризуется радиусом  $R = 0,5(A + B)$ , внутренним эксцентриситетом  $e = 0,5(A - B)$ , где  $A$  и  $B$  – полуоси эллипса ошибок и удвоенным дирекционным углом  $2\varphi$  большей полуоси  $A$ . Параметры таких окружностей  $R$  и  $e$  в плоскостях  $хоу$ ,  $хоз$ ,  $уоз$  можно вычислить по приведенным в цитируемых работах формулам, в результате чего можно определить ошибку положения точки по любому направлению.

Так, например, для оценки точности определения ширины колеи можно в матрице  $N$  (82) выделить блок  $2 \times 2$ :

$$\begin{pmatrix} [aa] & [ab] \\ [ab] & [bb] \end{pmatrix},$$

по компонентам которого можно вычислить параметры абсолютной (относящейся к отдельной точке) окружности СКО, расположенной в горизонтальной плоскости  $хоу$ :

$$R^2, e^2 = \frac{\mu^2}{4} \left( \frac{[aa] + [bb] \pm 2\sqrt{[aa][bb] - [ab]^2}}{[aa][bb] - [ab]^2} \right) \quad (85)$$

$$2\varphi = \operatorname{arctg} \frac{-[ab]}{[bb] - [aa]},$$

придерживаясь при вычислениях  $2\varphi$  следующих правил, изложенных в работе [141]:

1. Если  $[ab]$  – величина отрицательная, то при положительном значении дроби (85) непосредственно получают  $2\varphi$ . При отрицательном значении дроби необходимо к вычисленному по формуле (85) отрицательному значению  $2\varphi$  прибавить  $180^\circ$ .

2. Если  $[ab]$  – величина положительная, то при положительном значении дроби необходимо к полученному по формуле (85) значению  $2\varphi$  прибавить  $180^\circ$ , а при отрицательном значении дроби – прибавить  $360^\circ$  к вычисленному по формуле (85) отрицательному значению  $2\varphi$ .

Аналогичным образом можно вычислить параметры абсолютных окружностей СКО, расположенных в плоскостях  $хоз$  и  $хоz$ .

Параметры окружности СКО можно также вычислить по компонентам матрицы  $Q$  весовых коэффициентов или ковариационной матрицы  $K$  по изложенной в работе [141] методике.

Для характеристики точности взаимного положения, например, точек 1 и 1' (рис. 58), то есть точности определения ширины колеи, необходимо построить соответствующую им относительную окружность СКО. Пусть погрешность положения этих точек характеризуется абсолютными окружностями СКО с элементами  $R_1, e_1, 2\varphi_1$  и  $R_2, e_2, 2\varphi_2$ . Для вычисления параметров относительной окружности СКО применим методику квадратического сложения этих двух абсолютных окружностей. Теоретические основы такой методики были изложены Ф.Ф. Павловым в его работе (*Кривые средних ошибок. Научные труды МГИ, 1950, Вып. 8, С. 373-391*).

Сущность такого сложения заключается в построении так называемого квадратического полигона 1-2-3 (рис. 86). В качестве сторон полигона предлагается использовать величины  $4R_1e_1$  под углом  $2\varphi_1$  и  $4R_2e_2$  под углом  $2\varphi_2$ .

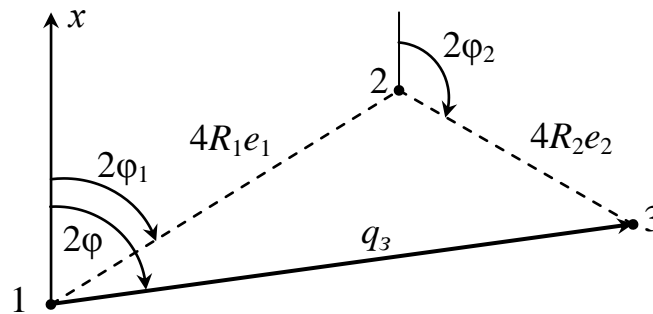


Рис. 86. Квадратический полигон при сложении окружностей СКО

В этом случае периметр  $\Pi$ , замыкающая  $q_3$  и её ориентировка  $2\varphi$ , а также радиус  $R$  и эксцентриситет  $e$  относительной окружности СКО определяются по формулам [124]:

$$\begin{aligned} \Pi &= 2(R_1^2 + e_1^2) + 2(R_2^2 + e_2^2), \\ q_3^2 &= [4R_1e_1\sin 2\varphi_1 + 4R_2e_2\sin 2\varphi_1]^2 + \\ &+ [4R_1e_1\cos 2\varphi_1 + 4R_2e_2\cos 2\varphi_1]^2, \\ 2\varphi &= \operatorname{arctg} \frac{[4R_1e_1\sin 2\varphi_1]}{[4R_1e_1\cos 2\varphi_1]}, \end{aligned} \quad (86)$$

$$R^2, e^2 = 0,25(\Pi \pm \sqrt{\Pi^2 - q_3^2}).$$

Для построения окружности СКО достаточно отложить от произвольной точки Т по направлению  $2\varphi$  замыкающей  $q_3$  (рис. 86) величину  $ТО = e$  (рис. 87). Точка О является центром этой окружности радиуса  $R$ , причём сразу ориентированной относительно координатных осей. При этом можем получить окружность СКО с левым (рис. 87, а, г) или правым (рис. 87, б, в) эксцентриситетом.



Теперь, зная дирекционный угол  $\alpha$  пролёта 1-1', проводим диаметр 4-3 относительной окружности СКО под углом  $2\alpha$  к оси  $x$  и получаем СКО определения ширины колеи Т-3 =  $m_1$  и СКО Т-4 =  $m_2$  по перпендикулярному направлению.

Аналитическое решение может осуществляться по формулам [141]:

$$m_1^2 = \frac{2\mu^2}{\Pi^2 - q_3^2} [\Pi \pm q_3 \cos(2\varphi - 2\alpha)],$$

$$m_2^2 = \frac{2\mu^2}{\Pi^2 - q_3^2} [\Pi \mp q_3 \cos(2\varphi - 2\alpha)],$$
(87)

где  $\mu$  – ошибка единицы веса.

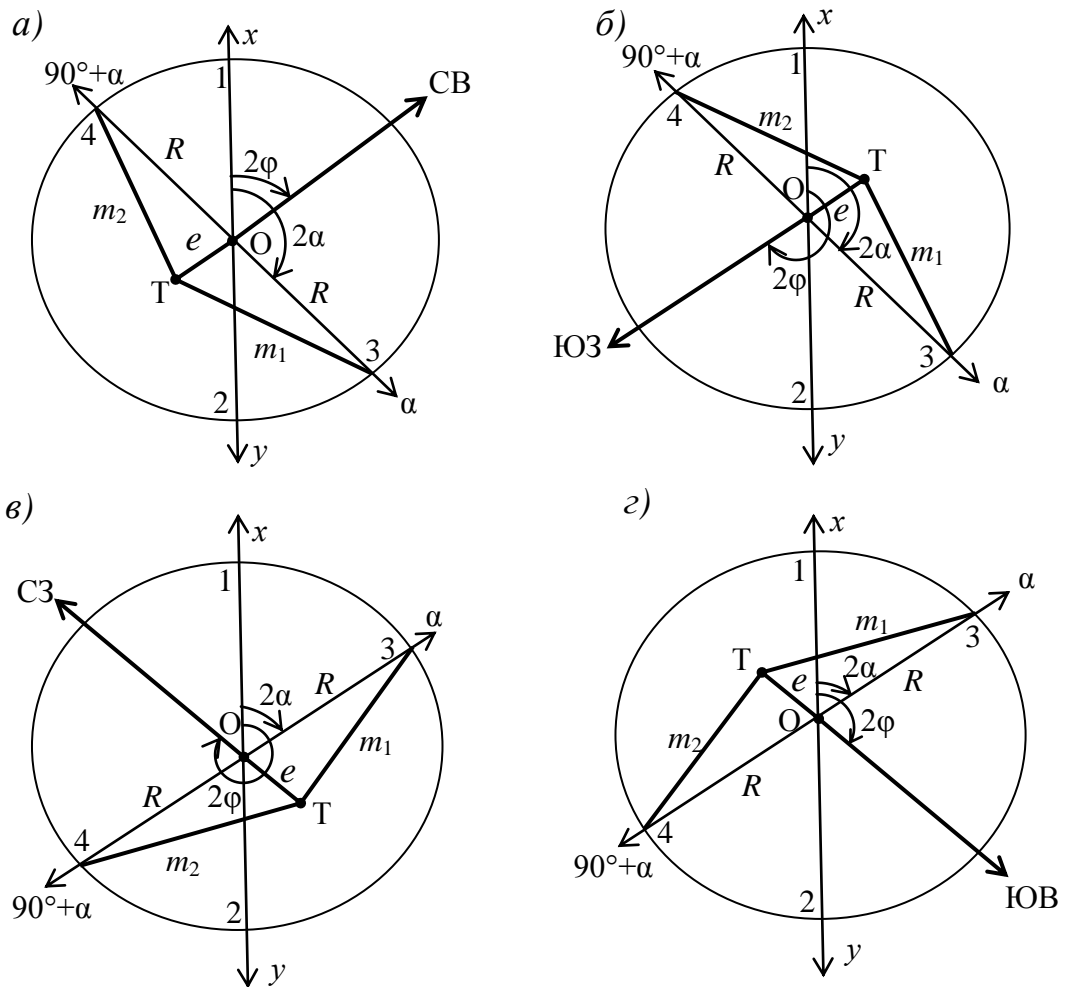


Рис. 87. Окружности СКО с левым и правым эксцентриситетами и СКО  $m_1$  и  $m_2$

Разность  $(2\varphi - 2\alpha)$  может быть как с «плюсом», так и с «минусом» (рис. 87 а), но в дальнейшем определяется косинус этой разности, а как известно  $\cos(-\alpha) = \cos\alpha$ . Если эта разность получилась больше  $180^\circ$  (рис. 87, в), то из неё следует вычесть  $180^\circ$ , поскольку углы  $\text{ТОЗ}$  и  $\text{ТО4}$

должны в сумме составлять  $180^\circ$ . Обращаем внимание, что отрезки  $T-1 = m_x$  и  $T-2 = m_y$ .

Следует сказать, что процесс формирования матриц  $N$ ,  $Q$ ,  $K$  с целью определения элементов абсолютных окружностей СКО представляет довольно сложную задачу. Однако этот процесс можно полностью исключить, если использовать для определения элементов окружностей СКО теорию квадратического полигона. В таком полигоне (рис. 86) сторону  $1-2 = p_S$  проводят под углом  $(2\alpha + 180^\circ)$ , а сторону  $2-3 = p_\alpha g^2$  под углом  $2\alpha$ . Они лежат на одной прямой, имея противоположные направления. В этом случае периметр  $\Pi = p_S + p_\alpha g^2$ , замыкающая  $q_3 = p_S - p_\alpha g^2$ , а  $R$  и  $e$  равны:

$$R^2, e^2 = \frac{\mu^2}{4} \left( \frac{p_S + p_\alpha g^2 \pm 2\sqrt{p_S \times p_\alpha g^2}}{p_S \times p_\alpha g^2} \right). \quad (88)$$

Ориентировка замыкающей зависит от знака разности  $(p_S - p_\alpha g^2)$ . Если в скобках величина положительная, то  $2\varphi = (2\alpha + 180^\circ)$ , если отрицательная, то  $2\varphi = 2\alpha$ .

Практически все функциональные возможности современных электронных тахеометров базируются на элементарной полярной засечке на плоскости или в трёхмерном пространстве. В полярной засечки на плоскости измеряют горизонтальное проложение  $D$  (используя, например, клавишу  $SDh$  прибора) и горизонтальный  $\beta$  или дирекционный угол  $\alpha$  на определяемую точку  $T$  (рис. 88).

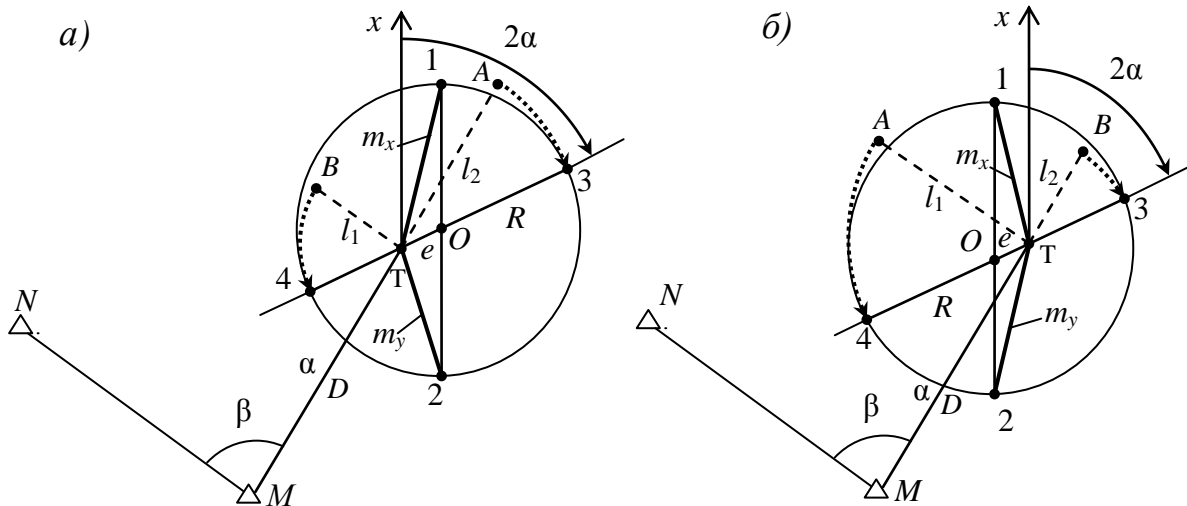


Рис. 88. Окружности СКО полярной засечки с левым (а) и правым (б) эксцентриситетами

Оценку точности такой засечки с использованием свойств окружности СКО можно выполнить, используя значения поперечного  $l_1$  и продольного смещения  $l_2$  точки  $T$ :

$$l_1 = \frac{m_{\beta, \alpha} D}{\rho}, \quad l_2 = m_D, \quad (89)$$

где  $m_{\beta, \alpha}$  и  $m_D$  являются СКО угловых и линейных измерений.

Для построения окружности СКО достаточно провести через точку  $T$  прямую под углом  $2\alpha$  к оси  $x$  и перенести на эту линию отрезки  $l_1$  и  $l_2$  (точки 3 и 4). Поделив отрезок 3-4 пополам, получают центр  $O$  искомой окружности, у которой радиус  $R$  и эксцентриситет  $e$  равны:

$$R = 0,5(l_1 + l_2), \quad e = 0,5(l_1 - l_2). \quad (90)$$

Если  $l_1 < l_2$ , то имеет место левый эксцентриситет (рис. 88, а), а  $l_2 = A$ ,  $l_1 = B$  большой и малой полуосям эллипса ошибок. Если  $l_1 > l_2$ , то имеем правый эксцентриситет (рис. 88, б), где  $l_2 = B$ ,  $l_1 = A$ .

Проведя диаметр 1-2 окружности СКО, получаем СКО точки  $T$  по осям координат  $m_x$  и  $m_y$ , которые можно вычислить по теореме косинусов:

$$\begin{aligned} m_x^2 &= e^2 + R^2 \pm 2eR\cos 2\alpha, \\ m_y^2 &= e^2 + R^2 \mp 2eR\cos 2\alpha, \end{aligned} \quad (91)$$

где верхние знаки  $\pm$  и  $\mp$  соответствуют левому эксцентриситету с положительным коэффициентом корреляции  $r_{xy}$ , а нижние – правому с отрицательным  $r_{xy}$ .

При  $l_1 = l_2$  эксцентриситет  $e = 0$  и центр  $O$  окружности СКО совпадает с точкой  $T$ . В этом случае получим  $E$ -оптимальную полярную засечку, когда  $A = B = R = m_x = m_y$  и коэффициент корреляции  $r_{xy} = 0$ .

Для характеристики точности определения ширины колеи, то есть точности взаимного положения, например, точек 1 и 1' (рис. 58), необходимо построить соответствующую им относительную окружность СКО. Для этого можно воспользоваться формулами (86), подставляя в них значения  $R$  и  $e$  из формул (90).

## **Глава 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ХОДОВОЙ ЧАСТИ МОСТОВЫХ КРАНОВ, НЕДОСТУПНЫХ ПУТЕЙ, ПОДКРАНОВЫХ БАЛОК**

### **5.1. Определение перекоса ходовых колёс и мостов кранов**

Перекося ходовых колёс мостового крана является одной из основных причин преждевременного износа и разрушения подкранового пути. Он может явиться следствием перекоса фермы моста крана при монтаже или в процессе эксплуатации, а также значительного различия диаметров беговой дорожки ведущих колёс. Различают перекося ведущих ходовых колёс и перекося осей ходовых колёс. Возможны следующие случаи перекося ведущих колёс:

1. Оба колеса имеют перекося в одну сторону на угол  $\varphi$ . В этом случае каждое колесо движется под этим углом к оси подкранового пути.

2. Одно колесо имеет перекося  $\varphi$ , а второе установлено правильно. Здесь движение будет происходить под углом  $\varphi/2$  к оси подкранового пути.

3. Оба колеса имеют перекося в разные стороны, при этом движение будет происходить параллельно оси подкранового пути.

Если у крана отсутствует перекося колёс, но его ведущая ось расположена под углом  $\varphi$  к осям рельсов, то движение крана будет происходить под углом  $\varphi$  к оси подкранового пути.

В результате перекося полная сила сцепления, действующая на колёса в плоскости их вращения, направлена под некоторым углом к осям рельсов. Одна из составляющих этой силы сцепления перемещает кран в направлении рельсовых осей, а другая составляющая действует перпендикулярно к оси рельсов, сжимая или разжимая фермы моста крана. В этих условиях кран перемещается с напряжением, что приводит не только к износу рельсов и реборд ходовых колёс, но и к дополнительным затратам электроэнергии.

Для нормальной работы крана необходимо, чтобы угол перекося ходовых колёс (осей) крана не превышал допустимой величины:

$$\varphi_{\text{доп}} = \frac{k}{S} \rho, \quad (92)$$

где  $k$  – разность ширины беговой дорожки колеса (расстояния между внутренними гранями реборд) и ширины головки подкранового рельса;  $S$  – расстояние, пройденное краном до момента набегания реборд ходового колеса на рельс.

Например, при  $k = 40$  мм и длине кранового пути 60 м угол перекося ходовых колёс (осей) крана не должен превышать 2,3', для 100 м – 1,4', для 150 м – 0,9'. Это говорит о том, что определение перекося требует применения специальных высокоточных геодезических измерений.

В работе [21] в кратком изложении дано описание методики определения перекося ходовых колёс с помощью струнных, струнно-оптических и оптических створов, которые могут быть взаимно параллельными, сопараллельными оси подкранового пути или ориентированы произвольно. В данном разделе книги эта проблема рассматривается в более широком аспекте.

### 5.1.1. Способ створов

Сущность способа струнных створов [118] заключается в следующем (рис. 89). С трёх сторон мостового крана натягивают струны 1-2, 2-3 и 3-4. Прямые углы  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  строят с помощью специальных угольников с нанесёнными на них индексами.

Все три струны располагаются на одном уровне с осями колёс, причём струна 2-3 должна быть параллельна линии  $O_2 O_3$ . Измеряют на уровне оси расстояния  $a_i$  и  $b_i$  между струной и наружной гранью колеса и вычисляют линейный перекося  $p_i = a_i - b_i$  каждого колеса относительно створа.

Если величина угла перекоса не превышает  $1^\circ$ , то его можно определить из выражения  $\varphi_i = \rho_i / 2R\rho'$ , где  $R$  – радиус колеса, а  $\rho' = 3438'$ . Если расстояние  $2R$  определять с точностью 5 мм, то при линейной величине перекоса до 10 мм и  $R = 300$  мм оценку точности способа можно производить по упрощённой формуле:

$$m_\varphi = \frac{m_p}{2R} \rho. \quad (93)$$

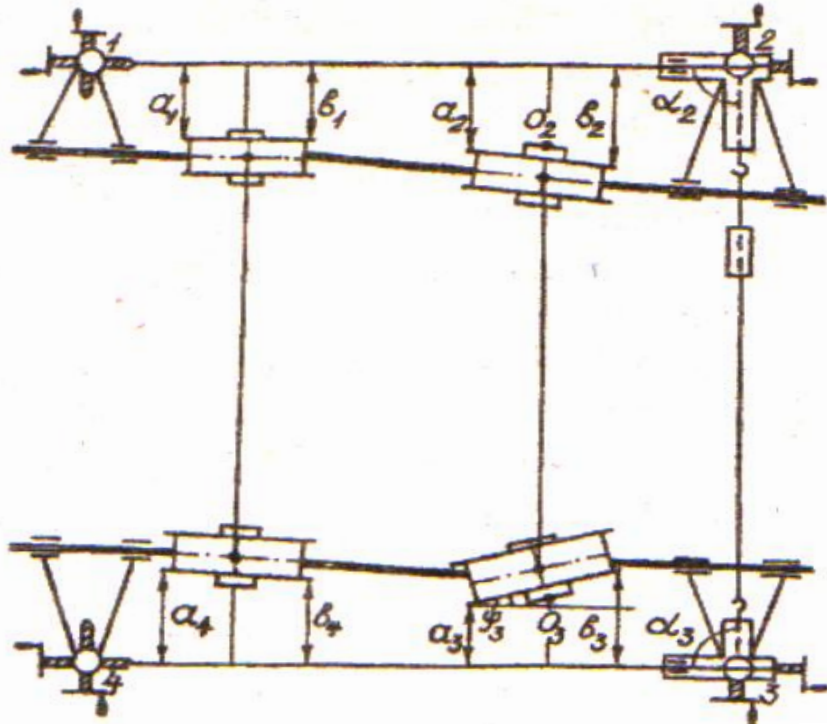


Рис. 89. Схема определения перекосов колёс с помощью струнных створов

По данным [118] при точности измерения расстояний  $a_i$  и  $b_i$  равной 0,2 мм, погрешности обработки боковой поверхности колеса 0,4 мм, ошибке 0,14 мм за счёт неточного построения углов  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  и ошибке 0,35 мм из-за непараллельности линий 2-3 и  $O_2 O_3$ , общая ошибка определения линейного перекоса  $m_p$  составит 0,6 мм. При  $R = 300$  мм ошибка определения угла перекоса будет равна  $3,4'$ .

При способе струнно-оптических створов строят (при условии взаимной видимости) на полу цеха геодезическое обоснование в виде четырёхугольника 1234 (рис. 89) с параллельными линиями 1-2 и 3-4. Затем точки 1, 2, 3 и 4 с помощью прибора вертикального проектирования (например, оптического *FG-L100* или лазерного *LV1*) переносят на уровень подкрановых путей и стороны 1-2 и 3-4 закрепляют струнами, от которых производят все необходимые измерения [22].

Способ оптических и лучевых створов предусматривает в качестве таковых использование визирного луча прибора или лазерного пучка. Построение створов составляет наиболее трудоёмкую часть работ. При этом точность получаемых результатов находится в прямой зависимости от выбранной гео-

метрической схемы положения створов как по отношению друг к другу, так и по отношению к подкрановому пути или мостовому крану. Все методы построения створов условно подразделяются на три основные группы: метод раздельных створов, метод четырёхугольника и метод параллельных створов.

Метод раздельных створов, построение которых не обусловлено каким-либо геометрическим условием их взаимосвязи, не позволяет добиться необходимой точности определения перекоса ходовых колёс, хотя он и является наиболее простым и оперативным.

В методе четырёхугольника рабочие створы совпадают с короткими сторонами внешнего прямоугольника, вершины которого могут быть закреплены на полу цеха с последующим их проектированием на подкрановые балки или на уровень подкранового пути. В этом случае существенное влияние на точность определения горизонтального перекоса ходовых колёс оказывает разворот моста крана относительно сторон прямоугольника, совпадающих с проектной осью подкранового пути. Так в работе [57], отмечается, что если перекосы моста и ходового колеса крана происходят в одном и том же направлении, например, по ходу часовой стрелки, то истинное значение угла  $\varphi_{и}$  перекоса колеса увеличивается на угол  $\varepsilon$  перекоса моста крана, то есть  $\varphi_{и} = \varphi + \varepsilon$ , где  $\varphi$  – измеренное значение перекоса колеса. Если перекосы моста и ходового колеса происходят в разных направлениях, то  $\varphi_{и} = \varphi - \varepsilon$ .

Наиболее эффективным считается метод параллельных створов, расположенных по торцам крана в одной плоскости с горизонтальными диаметрами колёс [23]. Здесь (рис. 90) створы могут иметь произвольную ориентировку.

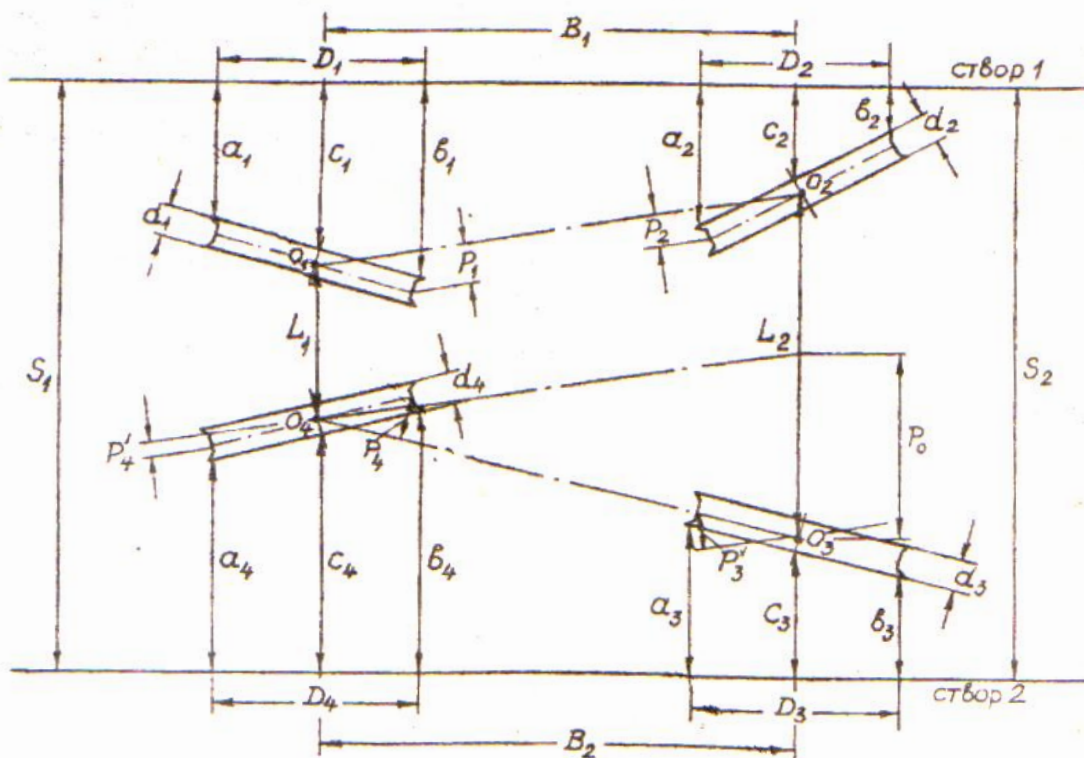


Рис. 90. Определение перекосов колёс с помощью параллельных створов

Для определения горизонтальных перекосов ходовых колёс и непараллельности осей  $O_1 O_2$  и  $O_3 O_4$ , соединяющих центры колёс, измеряют отрезки  $a_i$  и  $b_i$  от створов до наружных граней колёс и расстояния  $D_i$  между этими отрезками. Также измеряют проекции  $B_1$  и  $B_2$  базы крана на вертикальные плоскости, проходящие через створы 1 и 2, толщину колёс  $d_i$  и расстояния  $S_1$  и  $S_2$  между створами, которые должны быть равны между собой.

Расстояние между центрами парных колёс можно найти по формулам:

$$L_1 = S_1 - \left( c_1 + c_4 + \frac{d_1 + d_4}{2} \right), \quad L_2 = S_2 - \left( c_2 + c_3 + \frac{d_2 + d_3}{2} \right), \quad (94)$$

где  $c_i = 0,5(a_i + b_i)$  – расстояние от створа до наружной плоскости колеса в центре.

Горизонтальный перекося  $P_1, P_2$  ходовых колёс 1 и 2 относительно оси  $O_1 O_2$  находят из выражений:

$$P_{1,2} = \frac{1}{2} \left[ (a_{1,2} - b_{1,2}) - \frac{D_{1,2}}{B_1} (c_1 - c_2) \right], \quad (95)$$

$$P_{3,4} = \frac{1}{2} \left[ (b_{3,4} - a_{3,4}) - \frac{D_{3,4}}{B_2} (c_3 - c_4) \right].$$

Если требуется определить перекося  $P'_1$  и  $P'_2$  колёс 1 и 2 относительно оси  $O_3 O_4$  или перекося  $P'_3$  и  $P'_4$  колёс 3 и 4 относительно оси  $O_1 O_2$ , то пользуются формулами:

$$P'_{1,2} = \frac{1}{2} \left[ (a_{1,2} - b_{1,2}) - \frac{D_{1,2}}{B_2} (c_3 - c_4) \right], \quad (96)$$

$$P'_{3,4} = \frac{1}{2} \left[ (b_{3,4} - a_{3,4}) - \frac{D_{3,4}}{B_1} (c_1 - c_2) \right].$$

При вычислении перекосов положительный их знак означает, что исследуемое колесо развёрнуто относительно рассматриваемой оси против часовой стрелки и, наоборот, отрицательный перекося показывает, что разворот произошёл по часовой стрелке.

Если створы 1 и 2 параллельны, то можно определить величину  $P_0$ , характеризующую непараллельность осей  $O_1 O_2$  и  $O_3 O_4$ :

$$P_0 = (c_3 - c_4) - (c_1 - c_2), \quad (97)$$

причём, если определяется непараллельность  $O_3 O_4$  относительно  $O_1 O_2$ , то знак плюс означает, что ось  $O_3 O_4$  развёрнута относительно оси  $O_1 O_2$  против хода часовой стрелки и наоборот – при отрицательном знаке.

Исследования [23] показали, что если отрезки  $a_i$  и  $b_i$  измерять с СКО 0,1 мм, базу крана – 1 мм, расстояния  $S_1$  и  $S_2$  – 0,9 мм, значения  $D$  – 10 мм, то СКО определения перекосов не превысит 0,3 мм на 1 м базы замера  $D$ .

В работе [122] предложен способ использования струнных створов для контроля основных параметров крана и измерения горизонтального перекоса ходовых колёс относительно осей рельсов грузовой тележки. Для этого на рельсах тележки крана разбивают вспомогательный прямоугольник 1234, у которого стороны 1-4 и 2-3 равны проектному расстоянию  $L_0$  между центрами ходовых колёс, а все углы равны  $90^\circ$  (рис. 91).

Параллельно сторонам 1-2 и 3-4 подвешивают струны, фиксирующие створы 1 и 1', 2 и 2'. От этих створов измеряют расстояния  $k_i$  до внутреннего края ходовых колёс, расстояния  $a_i$  и  $b_i$  до наружной грани колёс, а также расстояния  $m_i$  от крайних точек прямоугольника до струн 1' и 2'. Кроме этого измеряют толщину ходовых колёс  $d_i$ , расстояния  $D_i$  между отрезками  $a_i$  и  $b_i$  и базисы  $B_i$  между центрами осей колёс.

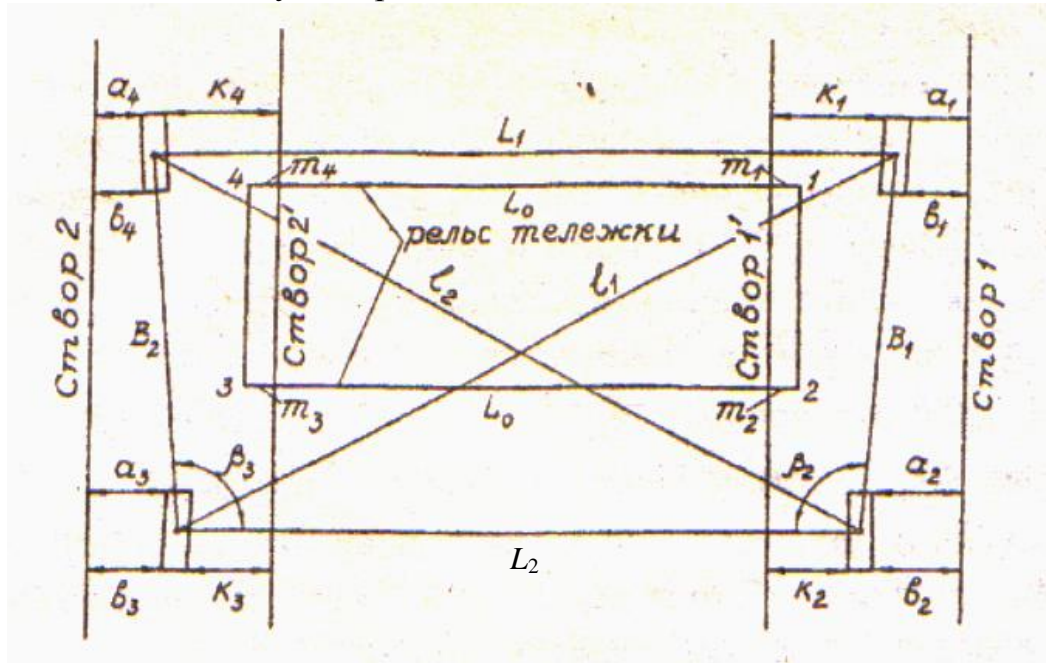


Рис. 91. Способ струнных створов и вспомогательного прямоугольника

Горизонтальный перекос ходовых колёс крана вычисляют по формулам:

$$P_{1,2} = (a_{1,2} - b_{1,2}) + [(d_2 - d_1) + (m_2 - m_1)] \frac{D_{1,2}}{B_1}, \quad (98)$$

$$P_{3,4} = (b_{3,4} - a_{3,4}) + [(d_3 - d_4) + (m_3 - m_4)] \frac{D_{3,4}}{B_2}.$$

Расстояния между центрами ходовых колёс крана находят из выражений:



$$L_1 = L_0 - (m_1 + m_4) + (k_1 + k_4) + \frac{1}{2}(d_1 + d_4) + \frac{1}{2}(P_1 + P_4),$$

$$L_2 = L_0 - (m_2 + m_3) + (k_2 + k_3) + \frac{1}{2}(d_2 + d_3) + \frac{1}{2}(P_2 + P_3).$$
(99)

Диагонали между центрами ходовых колёс и углы  $\beta_i$  вычисляют по формулам:

$$l_1 = \sqrt{L_2^2 + B_1^2 - 2L_2B_1\cos\beta_2},$$

$$l_2 = \sqrt{L_2^2 + B_2^2 - 2L_2B_2\cos\beta_3},$$

$$\beta_2 = 90^\circ + \rho \left[ \frac{(k_1 - k_2) + 0,5(P_1 - P_2)}{B_1} \right],$$

$$\beta_3 = 90^\circ + \rho \left[ \frac{(k_4 - k_3) + 0,5(P_4 - P_3)}{B_2} \right].$$
(100)

Наконец, измерив расстояния от сторон вспомогательного прямоугольника 1234 до граней главных и концевых балок, можно сделать заключение о перпендикулярности балок моста или его перекосе.

Для определения горизонтального перекоса ходовых колёс с требуемой точностью необходимо выдерживать взаимную перпендикулярность створов с точностью не ниже  $40''$ . Надо сказать, что обеспечить это требование в условиях надземных подкрановых путей действующего цеха довольно трудно. Поэтому прибегают к использованию приближённо-параллельных створов. Здесь (рис. 89) после грубого построения с помощью теодолита прямых углов  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ , измеряют отрезки  $a_i$  и  $b_i$ . В отрезки, измеренные относительно створа 3-4, вводят поправки (101), где  $\Delta\alpha = \alpha_2 + \alpha_3 - 180^\circ$  – непараллельность створов, а  $l_i$  – расстояние от теодолита до измеряемых отрезков. В этом случае на погрешность определения перекоса колёс крана основное влияние оказывает точность построения углов  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  и точность измерения отрезков  $a_i$  и  $b_i$ .

На практике одним из основных методов реализации створных способов измерения углов перекоса ходовых колёс является оптический метод, при котором от створа с помощью линейки боковым нивелированием измеряют отклонения противоположных концов диаметров колёс крана. В работе [67] выполнен анализ оптического метода.

Согласно ГОСТ 24378-80<sup>x</sup> Е максимальные углы перекоса колёс мостовых кранов не должны превышать  $0,002$  рад. Пределы допускаемых погрешностей измерений в машиностроении установлены по ГОСТ 8.051-81 (СТ СЭВ 303-76) в среднем 20-35% допуска в зависимости от класса точности. Для определения перекоса колёс принимают погрешность измерений = 20%

от  $\varphi$  или  $\sigma = \varphi/5 = 82''$ . В этом случае точность определения величин  $a_i$  и  $b_i$  (рис. 89) должна быть  $m = 0,6D\sigma/\sqrt{2} \rho = 0,12$  мм.

Получить такую точность методом бокового нивелирования практически невозможно, так как только погрешность отсчёта составляет 0,3 мм, а ещё необходимо учесть влияние ошибок центрирования прибора, визирной цели, делений линейки, её неперпендикулярность визирному лучу, перефокусировки зрительной трубы и другие факторы, суммарное влияние которых в несколько раз превышает требуемую точность  $\sigma$ . Кроме того, сокращение замерной базы колеса до  $(0,5-0,6)D$  (см. рис. 2, б), во-первых, ставит под сомнение возможность применения предложенного в работе [66] устройства под названием «косомер». Во-вторых, это сказывается на точности определения угла перекоса до такой степени, которую невозможно компенсировать даже с помощью специального визирного приспособления [91] – штангенциркуля с подвижной маркой и насадки на трубу теодолита, содержащую оптический микрометр и плоскопараллельную пластинку.

С учётом сказанного, известны два основных направления разработки методики повышения точности определения перекоса ходовых колёс при одновременном исключении высокоточных и трудоёмких угловых и линейных измерений. Первый путь предусматривает разработку более рациональных способов формирования планового обоснования. Другой путь заключается в построении линии, параллельной замерной базе колеса, что позволяет увеличить эту базу во много раз.

### 5.1.2. Способ приближенно-параллельных створов с пентапризмами

В работе [91] предложено строить геодезическое обоснование в виде приближённо-параллельных створов с помощью пентапризм. Вообще говоря, здесь речь идёт о двух параллельных створах, но погрешности в изготовлении пентапризм обуславливают непараллельность створов на некоторый угол  $\Delta\alpha$ , который определяется экспериментально с помощью гониометра или непосредственно в цехе по специальной методике, обеспечивающей точность 1-2". Сущность способа (рис. 92) заключается в следующем.

По створу 1 коллимационной плоскости трубы теодолита измеряют отрезки  $a_1, b_1$  и  $a_2, b_2$  до наружной плоскости колёс в их диаметрально противоположных точках. По створу 3, который автоматически формируется с помощью двух пентапризм, измеряют отрезки  $a_3, b_3$  и  $a_4, b_4$ , в которые вводят поправки:

$$\Delta a_i (\Delta b_i) = \frac{\Delta\alpha}{\rho} l_i, \quad (101)$$

где  $\Delta\alpha$  – непараллельность створов;  $l_i$  – расстояние от пентапризм до измеряемых отрезков.

Для повышения точности измерения отрезков  $a_i$  и  $b_i$  рекомендуется использовать упомянутый выше штангенциркуль.

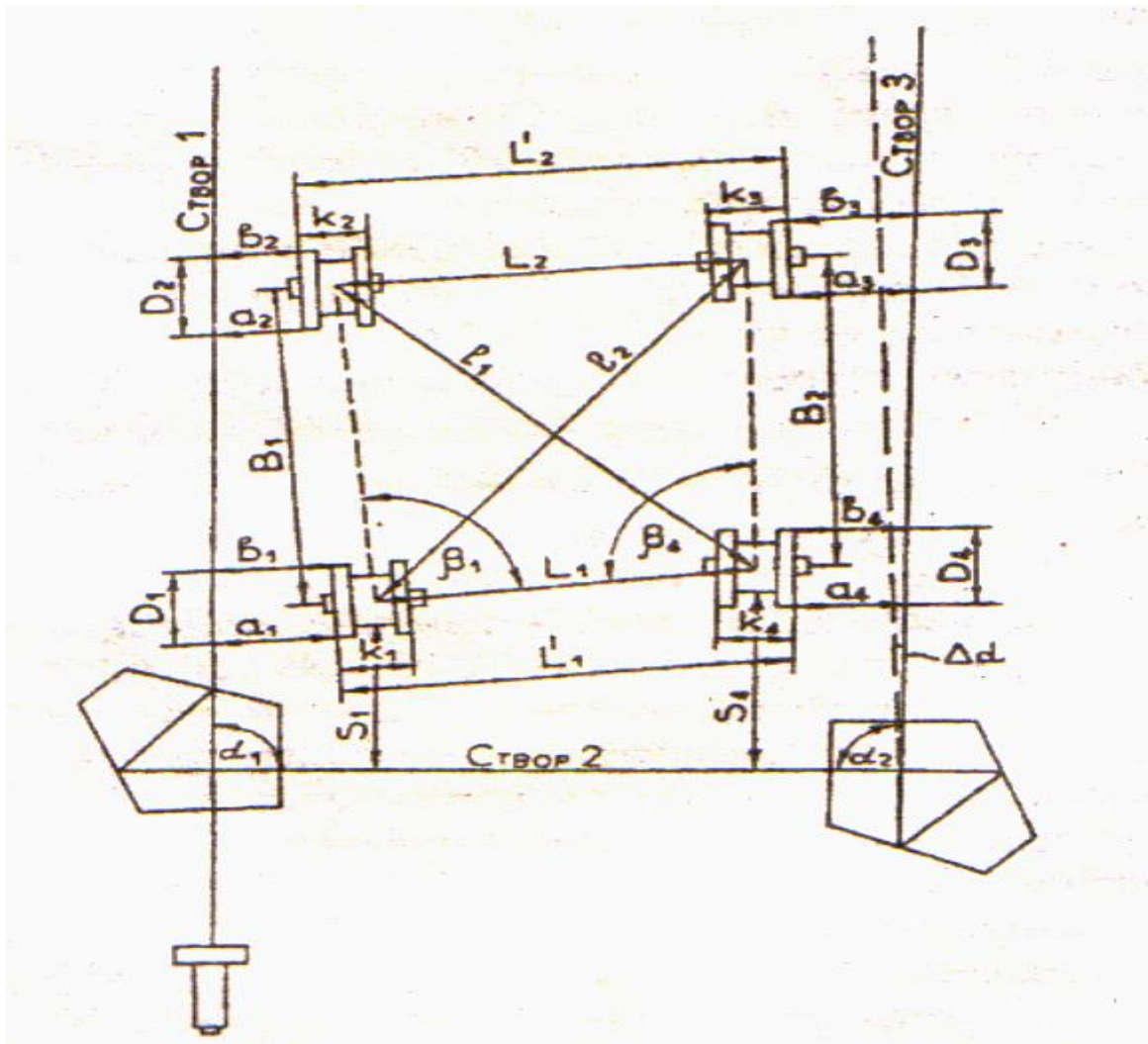


Рис. 92. Схема геодезического контроля мостового крана способом приближённо-параллельных створов

Экспериментальные исследования показали, что при определении перекосов колёс кранов пролётом не более 30 м и величине замерной базы колеса 1 м СКО определения горизонтального перекоса предлагаемым способом не превышает допустимой величины. При этом трудоёмкость работ по сравнению со способом построения створов с помощью теодолита сокращается в 2-3 раза.

Для комплексного контроля мостового крана необходимо дополнительно измерить от створа 2 отрезки  $S_1, S_4$ , базу крана  $B_1, B_2$ , расстояния  $L'_1, L'_2$  между крайними ребрами парных колёс и ширину колёс (рис. 92). Геометрические параметры моста крана вычисляют по формулам:

$$L_1 = L'_1 - \frac{k_1+k_4}{2} + P_1 + P_4, \quad L_2 = L'_2 - \frac{k_2+k_3}{2} + P_2 + P_3,$$

$$l_1 = L_1^2 + B_1^2 - 2L_1B_1\cos\beta_1, \quad l_2 = L_2^2 + B_2^2 - 2L_2B_2\cos\beta_4, \quad (102)$$

$$\beta_1 = \alpha_1 + \rho \left( \frac{c_1 - c_2}{B_1} + \frac{S_1 - S_4}{L_1} \right), \quad \beta_4 = \alpha_2 + \rho \left( \frac{c_4 - c_3}{B_2} + \frac{S_4 - S_1}{L_1} \right),$$

где  $P_i$  – горизонтальный перекося ходовых колёс, вычисляемый по приведенным выше формулам;  $c_i = 0,5(a_i + b_i)$  – расстояние от створов до центров ходовых колёс.

### 5.1.3. Лазерно-зеркальные способы

В работе [57] предложено устройство для контроля угла перекося моста крана (рис. 93, а), включающий источник лазерного излучения 1, установленный на специальном столике с зажимами, которыми он крепится к рельсу; горизонтальную шкалу 2 с миллиметровыми делениями, установленную над трубой лазера перпендикулярно к рельсу, причём нулевой штрих шкалы расположен в одной вертикальной плоскости с лазерным лучом; два плоских зеркала 3 и 4, размещённых на горизонтальном столике под углом  $45^\circ$  друг относительно друга; шкалу 5, которая крепится на противоположном рельсе подкрановых путей.

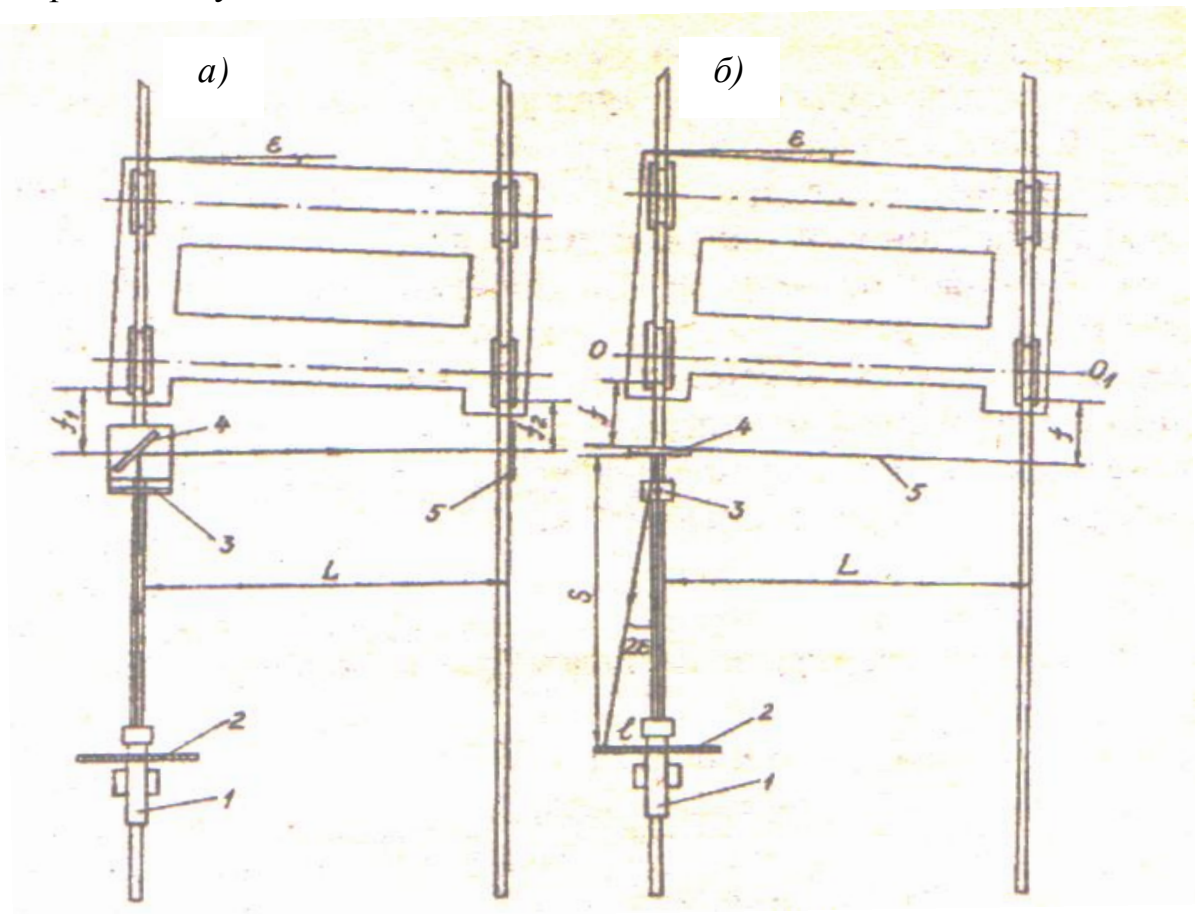


Рис. 93. Схема двухзеркального (а) и однозеркального (б) устройства для определения перекося моста крана

Устройство работает следующим образом. На расстоянии 12-15 м от корпуса крана устанавливают лазерный прибор 1, центрируя его над середи-

ной головки рельса. На расстоянии 0,2-0,3 м от корпуса крана закрепляют на рельсе столик с зеркалами 3 и 4. Лазерный пучок направляют на зеркало 3 и, вращая столик вокруг вертикальной оси, добиваются, чтобы отражённый от зеркала луч попал на нулевой индекс шкалы 2. Затем лазерный луч поднимают с помощью элевационного винта и направляют на зеркало 4.

Луч, отражённый от зеркала 4, попадает на шкалу 5, которую перемещают вдоль рельса так, чтобы световое пятно от луча оказалось на её нулевом индексе. Измеряют расстояния  $f_1$  и  $f_2$  соответственно от зеркала 4 и нулевого штриха шкалы 5 до вертикальных касательных к поверхностям качения передних ходовых колёс и вычисляют угол перекоса моста крана:

$$\varepsilon = \frac{f_1 - f_2}{L} \rho, \quad (103)$$

где  $\rho = 3438'$  – радиан в минутах;  $L$  – расстояние между осями рельсов.

Погрешность определения угла  $\varepsilon$  составляет:

$$m_\varepsilon = \frac{\rho}{L} \sqrt{2m_{f_1}^2 + \left(\frac{1'L}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon}{\rho}\right)^2 m_L^2}, \quad (104)$$

где  $m_{f_1}$  и  $m_L$  – ошибки измерения  $f_1$  и  $L$ .

При  $m_{f_1} = 3$  мм, ошибке установки зеркал под углом  $45^\circ$ , равной  $1'$ ,  $L = 20000$  мм,  $m_\varepsilon = 1,3'$ ; с вероятностью 0,90 ( $t = 1,6$ ) ошибка  $m_\varepsilon$  не превысит  $2,1'$ .

Зеркала 3 и 4 могут быть заменены пентапризмой. В этом случае точность определения угла  $\varepsilon$  повысится примерно в 1,7 раза.

Столик с зеркалами 3, 4 и шкалу 5 можно заменить двумя одинаковыми приспособлениями для натяжения струны 5 (рис. 93, б) параллельно геометрической оси  $OO_1$  передних ходовых колёс и подвесить на неё плоское зеркало 4.

Вначале луч лазера 1 направляют на марку 3, расположенную на оси рельса, а затем его поднимают с помощью элевационного винта и направляют на зеркало 4. Луч, отражённый от зеркала 4, попадает на шкалу 2 на некотором расстоянии  $l$  от её нулевого деления. Угол перекоса моста определяют по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\rho l}{2S}, \quad (105)$$

где  $S$  – расстояние от зеркала до шкалы.

В данном случае:

$$m_\varepsilon = \varepsilon \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}, \quad (106)$$

где  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – относительные ошибки  $l$  и  $S$ .

При определении  $l$  с точностью 2 мм, погрешность измерения угла перекоса с вероятностью 0,90 не превзойдёт 2,2'.

Другое лазерно-зеркальное устройство [58] предназначено для контроля углов перекоса ходовых колёс без высокоточных и трудоёмких угловых и линейных измерений. Оно может быть использовано также при монтаже колёс или их выправлении.

Устройство (рис. 51) включает: лазерный прибор 1, сконструированный на базе нивелира НЗ и приставки лазерной ПЛ-1, установленный на специальном столике с зажимами для крепления к рельсу; горизонтальную шкалу 2 с миллиметровыми делениями, устанавливаемую над лазерным прибором перпендикулярно к оси рельса; визирную марку 3, укреплённую на кронштейне и устанавливаемую сбоку от рельса; плоское зеркало 4, прикрепляемое к ходовому колесу 5 магнитом или струбциной так, чтобы его плоскость была параллельна оси колеса.

Лазерный прибор 1 устанавливают на расстоянии 15-20 м от корпуса крана, и на расстоянии 1-2 м – визирную марку 3. При этом прибор и марку располагают на таком одинаковом расстоянии  $b$  от оси рельса, чтобы лазерный луч попал на зеркало 4, укреплённое на ходовом колесе.

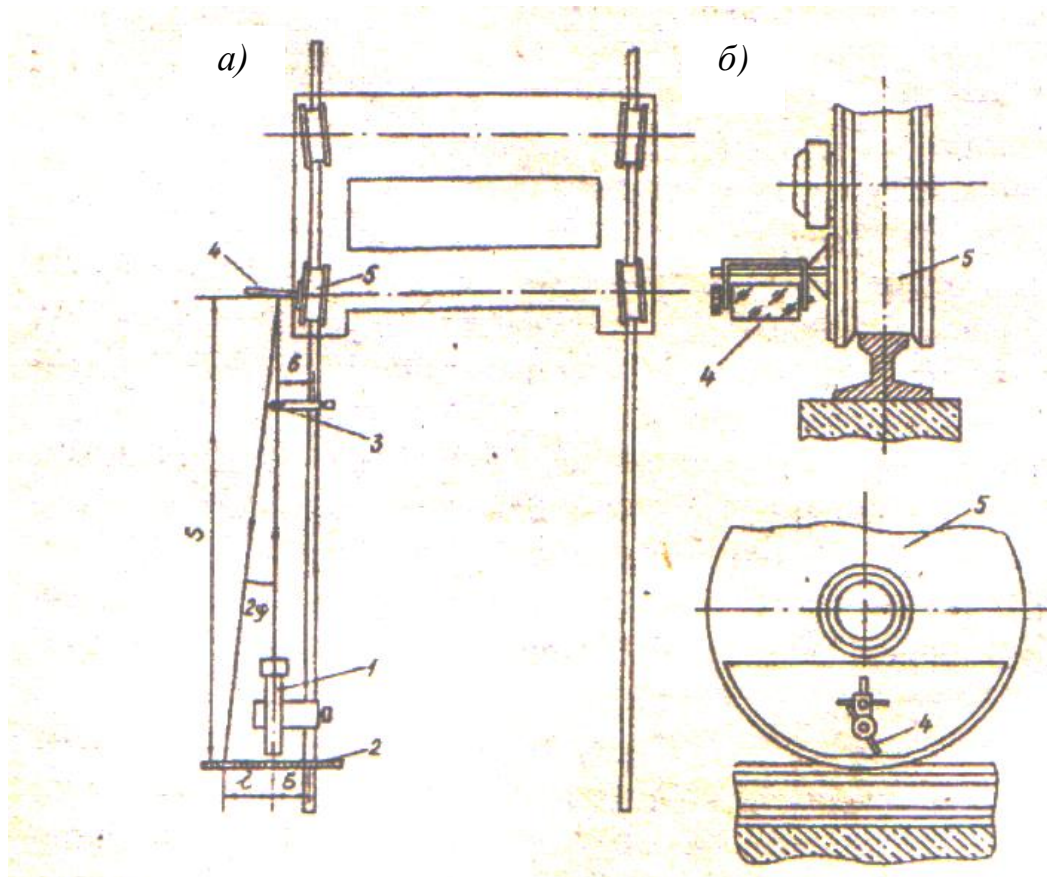


Рис. 94. Устройство для контроля углов перекоса колёс (а) и приспособление для крепления зеркала (б)

Направляют лазерный луч на центр марки, а затем поднимают его с помощью элевационного винта нивелира и наводят на зеркало 4, которое

вращают вокруг горизонтальной оси, добиваясь, чтобы отражённый луч попал на шкалу 2. По отклонению  $l$  световой точки лазерного луча от нулевого штриха шкалы судят об угле  $\varphi$  перекоса оси ходового колеса, которое вычисляют по формуле (105).

Погрешность установки зеркала параллельно оси ходового колеса по данным разработчиков не превосходит  $0,5'$ . При  $m_l = 2$  мм,  $m_b = 3$  мм и  $S \geq 10$  м СКО угла  $\varphi$  с вероятностью  $0,95$  не превысит  $2,5-3'$ .

В соответствии с ГОСТ 24378-80<sup>x</sup> E отклонение торцов ходовых колёс от плоскости рельса не должно превышать  $2D/1000$  ( $D$  – диаметр колеса), что даёт предельное значение угла  $\varphi = 7'$ . Точность устройства удовлетворяет требованиям нормативных документов и при необходимости может быть повышена путём увеличения расстояния  $S$ .

Для исключения искажающего влияния перекоса моста крана на результаты измерения углов перекоса ходовых колёс, в работе [59] предложено, названное авторами универсальным, лазерно-зеркальное устройство. Оно позволяет визуально контролировать углы перекоса и отклонение от вертикальной плоскости каждого ходового колеса крана.

Устройство (рис. 95) содержит лазерный прибор 1, сконструированный на базе нивелира 2Н-10КЛ и приставки лазерной ПЛ-1. Прибор снабжён экраном 2 с нанесёнными на нём горизонтальной и вертикальной осями координат.

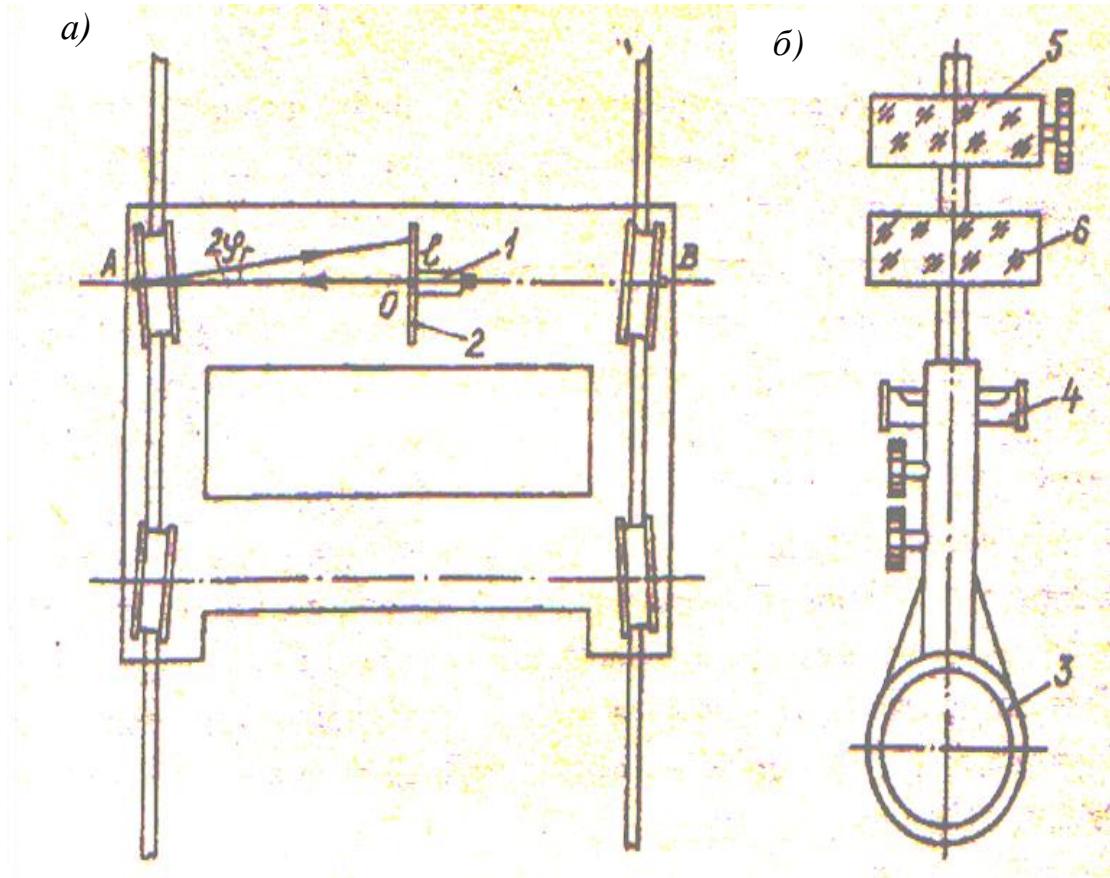


Рис. 95. Схема устройства (а) и стойка с опорной пластиной и зеркалами (б)

Экран установлен так, чтобы плоскость его была перпендикулярна к лазерному лучу, проходящему через начало системы координат  $O$ . В комплект устройства входят две стойки с опорной пластиной 3 и уровнем 4, одна из которых снабжена зеркалами 5 и 6, а вторая – экраном с осевой вертикальной линией.

Столик с лазерным прибором устанавливают на глаз в створе геометрической оси  $AB$  передних или задних ходовых колёс крана. На оси  $A$  одного из колёс с помощью опорной пластины 3 укрепляют стойку с зеркалами. На оси  $B$  второго колеса укрепляют аналогичную стойку с экраном. Стойки приводят в вертикальную плоскость створа  $AB$  с помощью уровней 4.

Методом последовательных приближений оптическую ось лазерного прибора совмещают с вертикальной плоскостью створа  $AB$ . Приводят луч лазера в горизонтальное положение и направляют его на зеркало 6. Отражённый от зеркала 6 луч попадает на экран 2 и даёт на нём световую точку. Измерив расстояния от  $O$  до световой точки по горизонтали и вертикали, вычисляют по формуле (105) перекося колеса в горизонтальной плоскости и угол отклонения его от вертикальной плоскости.

При непараллельности плоскостей зеркала 5 и опорной пластины 3 равной  $0,5'$ , погрешности определения положения геометрической оси  $AB$  около  $0,3'$  за счёт разворота колёс, ошибке измерения координат пятна 2 мм и  $S \geq 10$  м, предельная погрешность  $m_{\phi}$  с вероятностью 0,95 не превысит  $2,4'$ .

В работе [24] в качестве одного из достоинств рассмотренного метода отмечается, что «все измерения выполняются только на мосту крана...». Непонятно, как можно, находясь на мосту, производить измерения на уровне ходовых колёс крана.

#### 5.1.4. Способ линий, параллельных замерной базе ходовых колёс

В работе [67] задача построения линии, параллельной замерной базе колеса, решается с помощью измерителя перекося. Для этого на уровне подкрановых путей разбивают прямоугольник  $ABCD$  (рис. 96), в вершинах которого укрепляют реечки с делениями от нуля в обе стороны.

Положение нулей должно совпадать с вершинами прямоугольника, а плоскости реечек должны быть перпендикулярны его сторонам  $AB$  и  $CD$ . Расстояния  $AB = CD = S$  измеряют рулеткой, а  $AD$  и  $BC$  измерять необязательно.

К наружной плоскости колеса, доступной для измерений, прикладывают прибор 5, изготовленный на основе кипрегеля КБ с удлинённой и уширенной линейкой и с увеличенной длиной колонки. Для закрепления прибора на колесе на линейке имеются постоянные магниты. Визирная ось трубы параллельна контактирующей плоскости линейки.

Для определения перекося, например, колеса 1, визируют прибором 5 на рейку  $A$  и берут отсчёт  $a_1$ . Переводят трубу через зенит, визируют на рейку  $B$  и берут отсчёт  $b_1$ . Угол перекося колеса 1 относительно створа  $AB$  будет:



$$\varphi_1 = \frac{a_1 - b_1}{S\rho}, \quad (107)$$

причём необходимо учитывать знак отсчёта по реечке. Аналогичным образом определяют углы перекоса колёс 2, 3 и 4 мостового крана б.

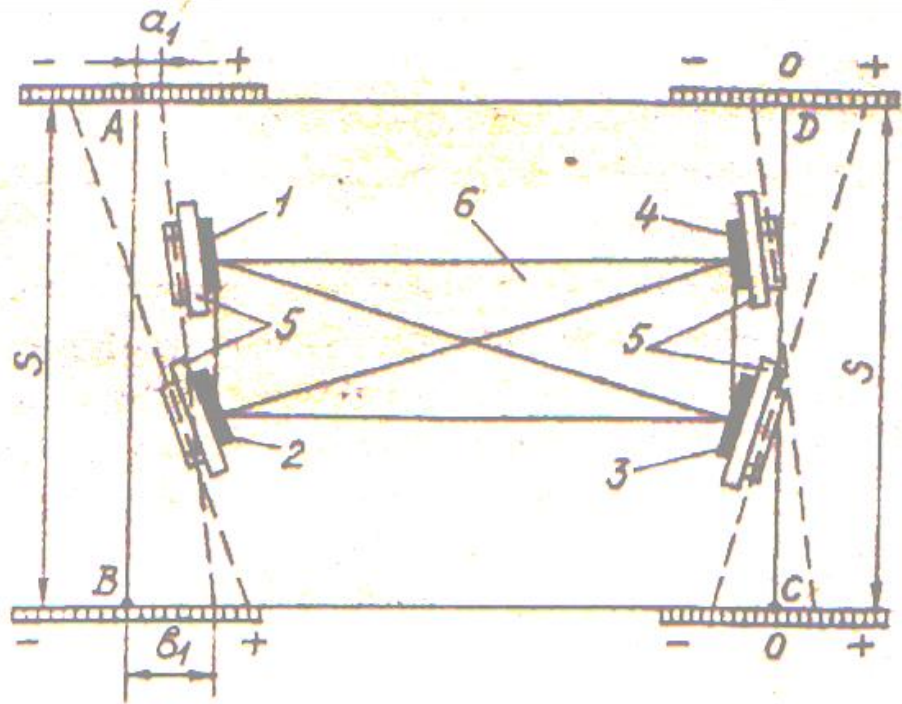


Рис. 96. Схема определения перекосов колёс крана

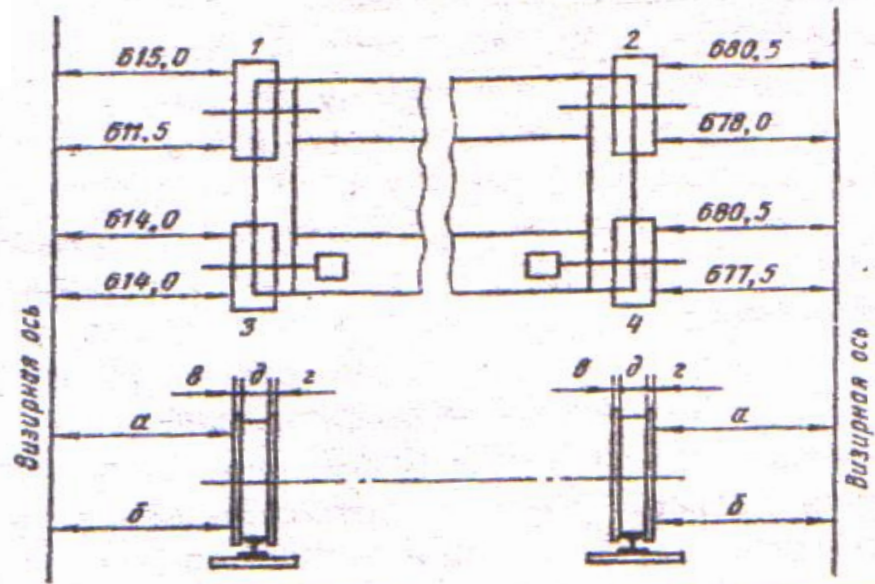
Точность определения перекоса колёс при тех же погрешностях отсчёта, что и в оптическом способе, увеличивается во столько раз, во сколько расстояние  $S$  больше замерной базы колеса.

Для создания планового обоснования на уровне подкранового пути в виде прямоугольника  $ABCD$  предложено использовать метод обратных геодезических засечек [68]. Для этого необходимо закрепить базис из трёх точек, расположенный примерно посередине цеха параллельно продольным осям.

От точек базиса методом обратной засечки определяют координаты четырёх вспомогательных точек, расположенных по возможности в непосредственной близости от проектного прямоугольника  $ABCD$ . Вычисляют редукции для получения этого прямоугольника на уровне подкрановых путей, от точек которого определяют геометрические параметры мостового крана. Наименьшая ошибка в определении координат получается для точки, которая находится против середины базиса при его длине, равной ширине подкрановой колеи.

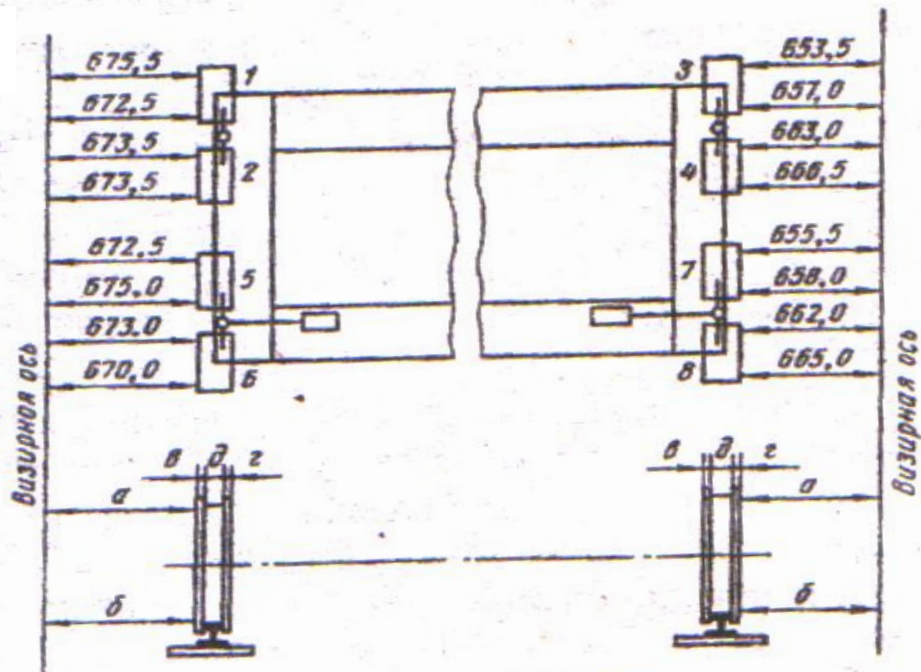
В результате натурных измерений и их обработки составляют исполнительные схемы перекосов, показанные на рис. 97.

а)



Номера колёс	Размеры, мм					Номера колёс	Размеры, мм				
	а	б	в	г	д		а	б	в	г	д
1	613,0	611,5	31,0	32,0	150,0	3	619,0	621,0	25,0	23,0	155,0
2	583,0	579,0	22,0	24,0	160,0	4	595,0	590,0	30,0	25,0	160,0

б)



Номера колёс	Размеры, мм					Номера колёс	Размеры, мм				
	а	б	в	г	д		а	б	в	г	д
1	677,0	674,5	15,0	18,0	183,0	5	701,5	699,5	18,0	18,0	185,0
2	677,0	676,0	12,0	22,0	175,0	6	710,0	704,5	12,0	18,0	180,0
3	678,0	672,5	14,0	20,0	185,0	7	670,0	657,5	16,0	22,0	175,0
4	683,0	681,0	16,0	22,0	182,0	8	666,0	661,0	16,0	16,0	175,0

Рис. 97. Перекос колёс четырёхколёсного (а) и восьмиколёсного (б) кранов

В заключение отметим, что изложенные способы определения перекосов ходовых колёс и мостов кранов не исчерпывают всего спектра научных поисков решения этой проблемы. В этом отношении определённый интерес представляют другие работы как отечественных, так и зарубежных исследователей.

Так, в работе [157] описаны приёмы геодезического контроля не только подкрановых путей, но и несущей системы крана и колёс, а также взаимного их расположения. В этой связи в работе [88] рассмотрена существующая методология оценки технического состояния кранового оборудования и по результатам исследований предложено изучать кран и подкрановый путь как единую систему. Сформулированы геометрические характеристики крана и подкранового пути, подлежащие исследованию.

В другой работе [158] представлен способ измерения перекосов моста автоколлимационным методом с использованием лазера, установленного в начале пути, луч которого ориентирован вдоль рельсов; экрана с отверстием, установленного перед лазером; кинокамеры, фотографирующей след лазерного пучка на экране.

В работе [102] предложен способ измерений диагоналей моста во время движения крана методом линейных измерений с автоматической записью результатов.

Математические зависимости боковых сил, наибольшим образом влияющих на износ ходовых колёс мостовых кранов, приведены в работе [65]. Здесь также предлагается устройство, позволяющее определять развороты мостового крана в горизонтальной плоскости в процессе движения крана по подкрановому пути.

## **5.2. Геодезические способы съёмки недоступных подвесных путей**

Для съёмки подвесных путей в сложных условиях предложено [153] специальное сиденье (рис. 98), подвешенное на рельсе при помощи двух колёс с наклонными осями.

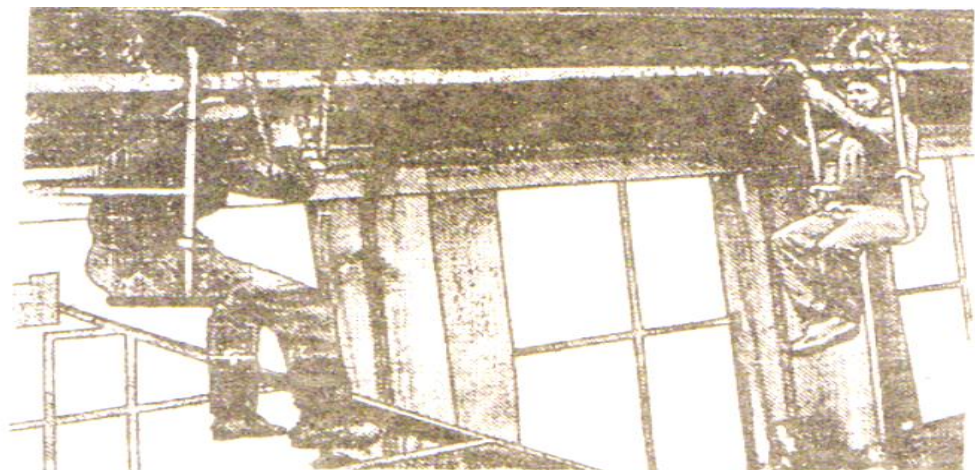


Рис. 98. Сиденье для съёмки подвесных путей

Находясь в нём, исполнитель с помощью специальной ручки, связанной цепной передачей с одним из колёс, может перемещаться вдоль рельса и прикладывает к нему снизу через определённый интервал марку для контроля прямолинейности рельсовой оси, рейку для нивелирования или конец рулетки для измерения ширины колеи кранового пути.

Наблюдатель с прибором располагается в неподвижно закреплённом сидении, а теодолит или нивелир устанавливается на специальной подставке.

Нами [126] предлагается другой вариант контроля планово-высотного положения рельсов однобалочных кранов подвесного типа, недоступных для обычных методов измерений.

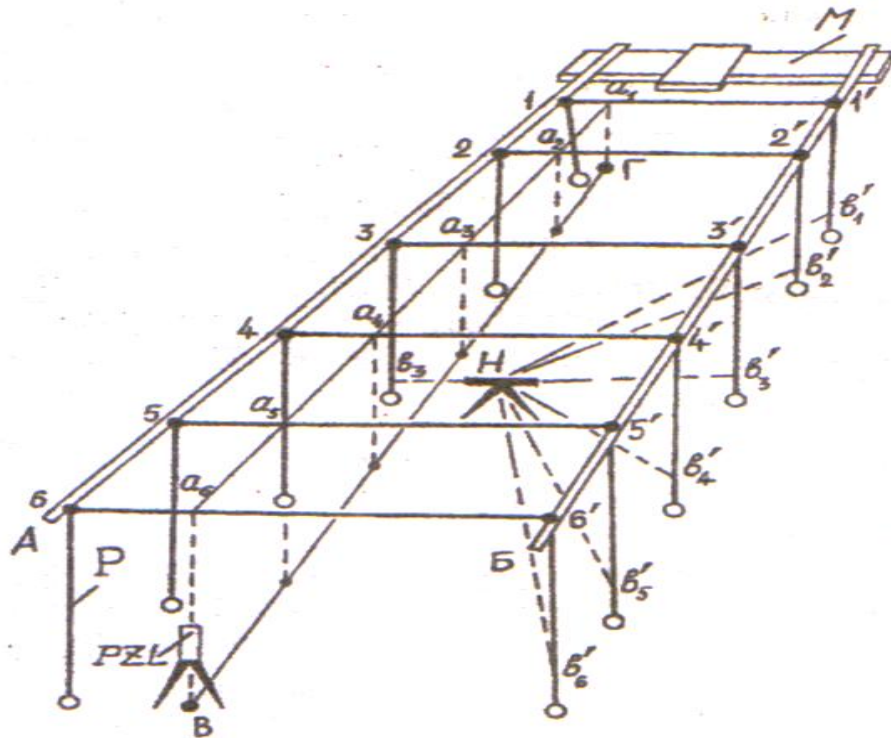


Рис. 99. Схема съёмки недоступных подкрановых рельсов

Съёмка путей производится двумя исполнителями. Один из них находится в подвесной люльке, которая может с помощью тали перемещаться вдоль главной балки М (рис. 99). Для нивелирования кранового пути он подвешивает рулетку Р с грузом к ездовым балкам А и Б поочерёдно в точках 1, 2, ..., 6 и 6', 5', ..., 1'. Второй исполнитель с помощью нивелира Н, установленного на полу цеха, производит отсчёты по рулетке  $b_1, b_2, \dots, b_6$  и  $b_6', b_5', \dots, b_1'$ . Вместо рулетки можно использовать подвешенную на тросике обычную нивелирную рейку.

В настоящее время можно с помощью лазерной рулетки измерить расстояния по вертикали от ездовой балки до пола (или оборудования) цеха, отмечая точки замера и нивелируя их в дальнейшем. В работе [87] для этих целей предлагается устройство, komponующее линейку с делениями и лазерную рулетку. Устройство располагается на закреплённом на штативе столике и последовательно устанавливается в предварительно разбитых и замаркированных на полу цеха точках. В каждой точке берёт отсчёт по линейке и изме-

ряют расстояние до ездовой балки. По этим данным вычисляют превышения между контролируемыми точками балки. Однако насыщенность цехов технологическим оборудованием делает проблематичным применение этого способа на практике. Нами предлагается более простой способ нивелирования недоступных подкрановых рельсов (рис. 100).

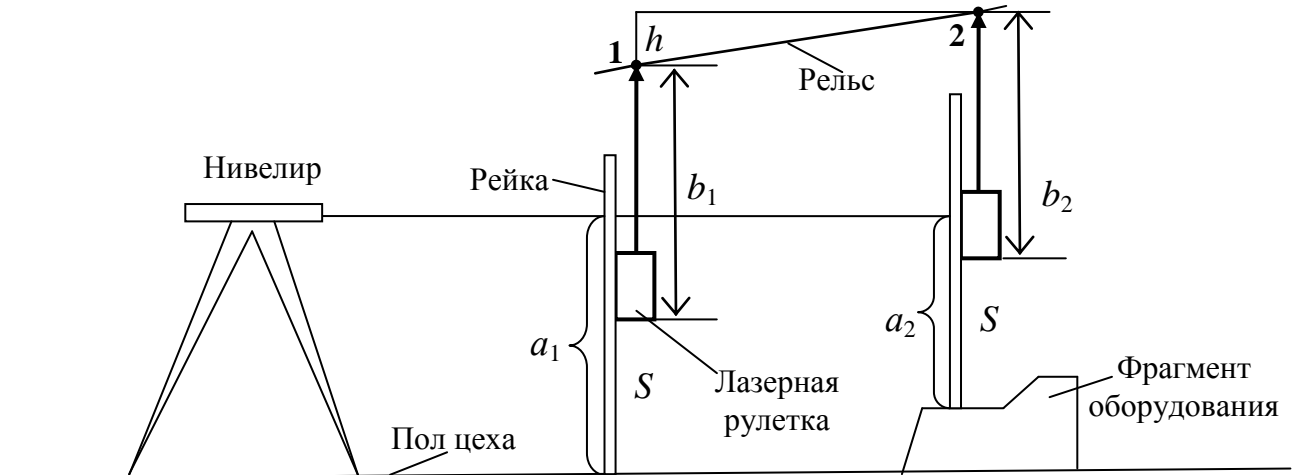


Рис. 100. Схема нивелирования недоступных подкрановых рельсов

На обычной нивелирной рейке закрепляют на произвольном расстоянии  $S$  от её пятки лазерную рулетку. Устанавливают последовательно рейку под контролируемыми точками  $1, 2, \dots$ , беря по нивелиру отсчёты  $a_1, a_2, \dots$  и одновременно измеряя расстояния  $b_1, b_2, \dots$ . Превышение между точками вычисляют по аналогичной в работе [87] формуле:

$$h = (b_1 - b_2) - (a_1 - a_2). \quad (108)$$

В работе [7] предлагается, для исключения влияния угла  $i$  (непараллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня нивелира), производить нивелирование подвесных крановых путей с двух точек, расположенных в разных концах цеха. Тогда превышение  $h$  между любыми двумя точками с учётом неравенства плеч будет вычисляться по формуле:

$$h = \frac{(b_1 - a_1)(S_2 - S_1) - (b_2 - a_2)(S_2' - S_1')}{(S_2 - S_1) - (S_2' - S_1')}, \quad (109)$$

где  $a_{1,2}$  — отсчёты по задней рейке,  $b_{1,2}$  — отсчёты по передней рейке на первой и второй станциях;  $S_1, S_1'$  — расстояния до задней рейки,  $S_2, S_2'$  — расстояния до передней рейки от первой и второй станции.

Для контроля прямолинейности ездовых балок разбивают на полу цеха створ ВГ (рис. 99). Первый исполнитель, перемещаясь в люльке вдоль главной балки М, натягивает рулетку между точками 1 и 1' и измеряет ширину колеи. При этом один конец рулетки крепится к ездовой балке А с помощью специального магнитного замка, в то время как другой конец рулетки удерживается

живается на ездовой балке Б. Это позволяет производить измерение ширины колеи одному человеку.

Одновременно второй исполнитель устанавливает в точке Г прибор вертикального проектирования типа *PZL* и производит отсчёт  $a_1$  по натянутой рулетке. Затем кран-балка М перемещается к точкам 2 и 2' и действия исполнителей повторяются, то есть вновь измеряют ширину колеи и берут по рулетке отсчёт  $a_2$ . В такой последовательности работа выполняется на всём протяжении кранового пути.

В стеснённых условиях и при наличии большого количества оборудования створ ВГ можно разбить в виде нескольких параллельных между собой отрезков. В этом случае все отсчёты  $a_i$  по рулетке следует привести к одному створу с учётом расстояния между частными створами по перпендикуляру к общему створу. Результаты нивелирования и определения непрямолинейности обрабатываются обычными методами.

В работе [10] рассматриваются некоторые особенности применения способов створа и тригонометрического нивелирования для геодезической выверки ездых балок двух параллельно расположенных подвесных кранов (по 5 пролётов каждый) в промышленном цехе размером 96x192 м. Ездовые двухтавровые балки расположены на отметке 32 м.

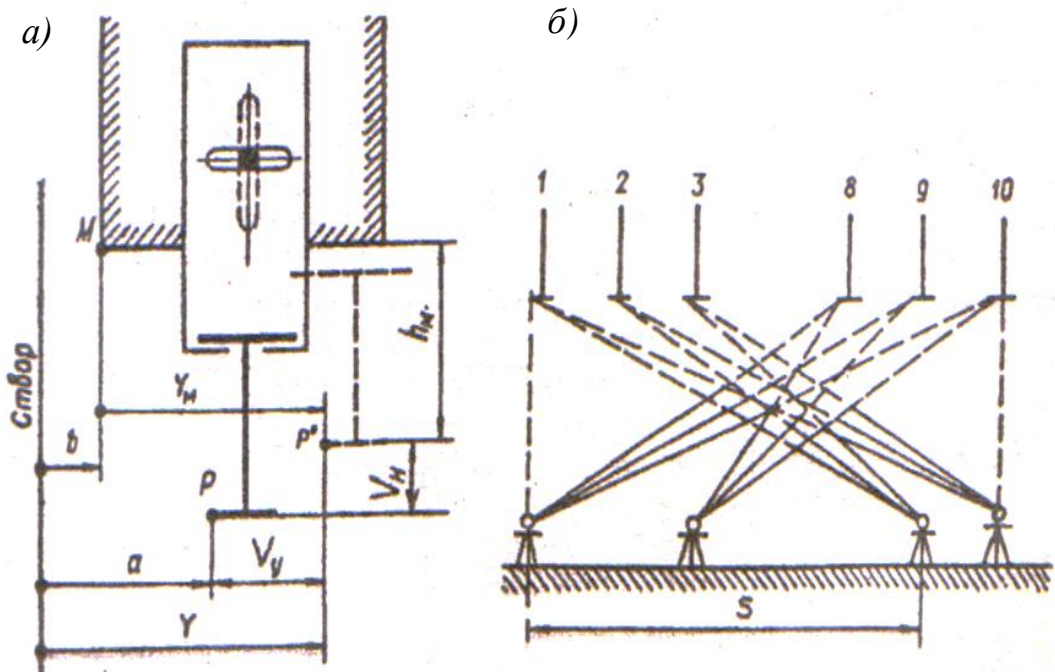


Рис. 101. Определение планового положения (а) и тригонометрическое нивелирование (б) ездых балок

Отличительной особенностью выверки планового положения балок явилась разбивка параллельных створов с закреплением их промежуточных точек через 24-48 м. От этих створов производили съёмку левого края нижнего ездого пояса каждой балки (рис. 101, а, точка *P*) и нижнего левого угла фасонки узла крепления (рис. 101, а, точка *M*), используемого в качестве маяка для контроля положения балки в процессе рихтовки. Для измерения

отклонений точек  $P$  и  $M$  от створа использовался прибор вертикального проектирования  $PZL$ . При помощи двухкоординатной редуцированной подставки с треногой прибор выводился на соответствующую вертикаль (точки  $P$  или  $M$ ). Положение этой вертикали относительно створа определялось теодолитом по линейке, соединённой с прибором  $PZL$ .

Высотное положение балки (точка  $P$ ) и маяка (точка  $M$ ) определялись тригонометрическим нивелированием (рис. 101, б) с промежуточных точек створа (по поперечникам).

Для расстояний 100 м и углов наклона  $30^\circ$  СКО определения отметки точек  $P$  и  $M$  составит 4 мм, если погрешность отметки ближайшего рабочего репера 2 мм, высоты прибора 0,3 мм, горизонтального проложения 2 мм, высоты визирной цели 0,5 мм, измерения угла наклона  $5''$ . При четырёх независимых измерениях СКО отметки точек  $P$  и  $M$  может быть уменьшена до 2 мм.

В работе [2] предложено устройство, которое может быть использовано для контроля прямолинейности и высотного положения недоступных крановых путей. Оно состоит из жёсткой рамы 1, прикрепляемой к конструкциям мостового крана или кран-балки (рис. 102).

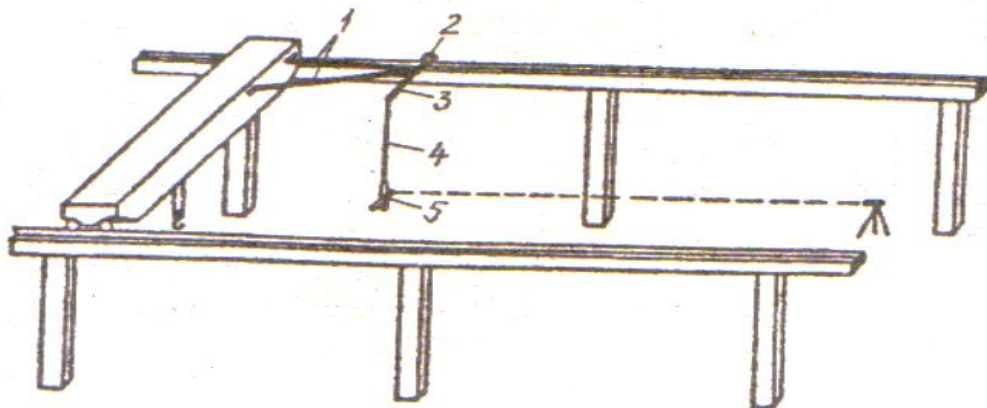


Рис. 102. Подвесные рейки с индикатором положения рельса

На конце рамы закреплён индикатор положения подкранового рельса, состоящий из ролика 2 с профилированной поверхностью, повторяющей форму головки рельса. При движении ролика по рельсу возникают возвратно-поступательные перемещения штока 3, к концу которого прикреплен трос 4 с двумя взаимно перпендикулярными рейками 5.

Сориентировав горизонтальный визирный луч нивелира по нулевому делению горизонтальной рейки, определяют в заданных точках превышения и отклонения оси рельса от прямой линии. Аналогично определяют планово-высотное положение второго рельса.

Отличительной особенностью устройства для съёмки недоступных ездовых путей кран-балок [84] является наличие специальной подвижной каретки 1 с роликами катушечного типа 2 (рис. 103).

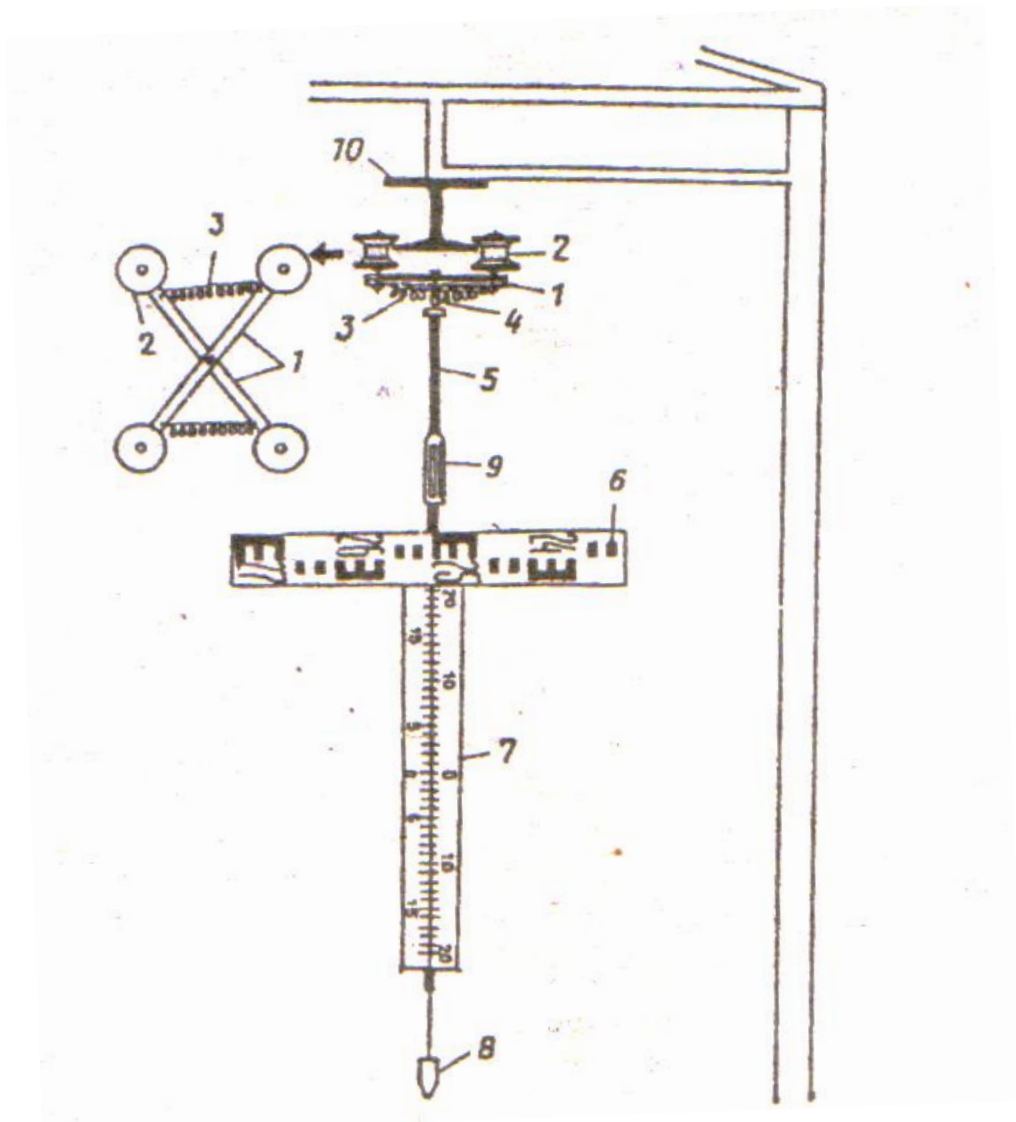


Рис. 103. Каретка с подвесными рейками

Пружины 3 обеспечивают надёжный захват и прижатие роликов к рёбрам ездовой балки и самоцентрирование на ней каретки. На оси каретки укреплена с помощью шарнира Гука 4 раздвижная штанга 5, несущая на себе крестообразную измерительную рейку с горизонтальной 6 и вертикальной 7 шкалами, а также отвесом 8. Прокатывание каретки по ездовой балке 10 осуществляется непосредственно толканием штанги, или с помощью тросика, закреплённого за каретку.

Съёмку обеих ездовых балок выполняют следующим образом. С помощью устройства осевые точки концов одной ездовой балки проектируют на пол цеха и закрепляют. Над одной из точек по отвесу центрируют нивелир, а над другой – устройство. Ориентируют горизонтальную визирную ось зрительной трубы по створу, а нуль шкалы вертикальной рейки совмещают с горизонтальной нитью сетки, регулируя длину раздвижной штанги с помощью цангового соединения 9 с зажимной гайкой.

Последовательно перемещают каретку по рельсовой балке и фиксируют отсчёты по шкалам горизонтальной и вертикальной реек. Затем, отложив



от первого створа проектное расстояние между осями ездовых балок, фиксируют второй съёмочный створ и описанным способом производят контроль плано-высотного положения второй ездовой балки, связав их между собой в высотном отношении.

Разработанный нами способ [127] предназначен для одновременного определения ширины колеи и непрямолинейности крановых рельсов, недоступных для непосредственных измерений.

Сущность способа заключается в том, что на кран-балке монтируется специальная трособлочная система, позволяющая производить все необходимые измерения с пола цеха. При этом два подвижных блока этой системы 1 и 2 (рис. 104, а, б) контактируют с внешними гранями ездовых балок и связаны через неподвижные блоки 3 и 4 с блоком 5 с грузом посредством ленты с миллиметровыми делениями. В свою очередь неподвижные блоки 3 и 4 связаны с блоком 5 подпружиненной лентой, на которой закреплена градуированная линейка с цилиндрически уровнем. Использование ленты вместо троса обеспечивает устойчивость такой системы против её вращения и исключает необходимость закрепления на тросах дополнительных отсчётных приспособлений для производства измерений.

Для реализации способа отмечают на полу цеха две точки  $A$  и  $B$  (рис. 104, з) так, чтобы линия  $AB$  была примерно параллельна подкрановому пути. В точке  $A$  устанавливают теодолит и ориентируют визирную ось зрительной трубы по линии  $AB$ . Любым из доступных способов определяют ширину колеи в одном поперечном сечении, например,  $L_0$  в сечении  $0-0'$ . Для этого можно использовать прибор типа  $PZL$ , с помощью которого следует спроектировать на уровень пола цеха противоположные осевые точки  $0$  и  $0'$  ездовых балок и измерить между ними расстояние, равное ширине колеи в данном сечении.

Перемещают кран-балку с трособлочной системой в начальное сечение  $0-0'$  и по горизонтальной линейке берут с помощью теодолита отсчёт  $l_0$ , а с помощью самой линейки – два отсчёта  $Л_0$  и  $П_0$  по левой и правой ветвям ленты (рис. 104, в, з). Аналогичным образом, перемещая с помощью кран-балки трособлочную систему в точки съёмки  $1, 2, \dots, n$ , берут соответствующие отсчёты  $l_i, Л_i, П_i$  в этих точках.

В общем случае эти отсчёты в результате непрямолинейности подкранового пути и изменения ширины его колеи будут отличаться от первоначальных. Вычислить ширину колеи в любом сечении можно по формуле:

$$L_i = L_0 + \delta_i + \delta'_i = L_0 + (Л_i - L_0) + (П_i - П_0), \quad (110)$$

где  $\delta_i$  и  $\delta'_i$  – отклонения расстояний  $i-3$  и  $i'-4$  между осями блоков 1 и 3, 2 и 4 от первоначальных  $0-3$  и  $0'-4$  (рис. 104, а, в). При этом необходимо учитывать, что если линейка в  $i$ -м сечении располагается ниже первоначальных отсчётов  $Л_0$  и  $П_0$ , то разности в скобках имеют знак плюс, выше – знак минус.

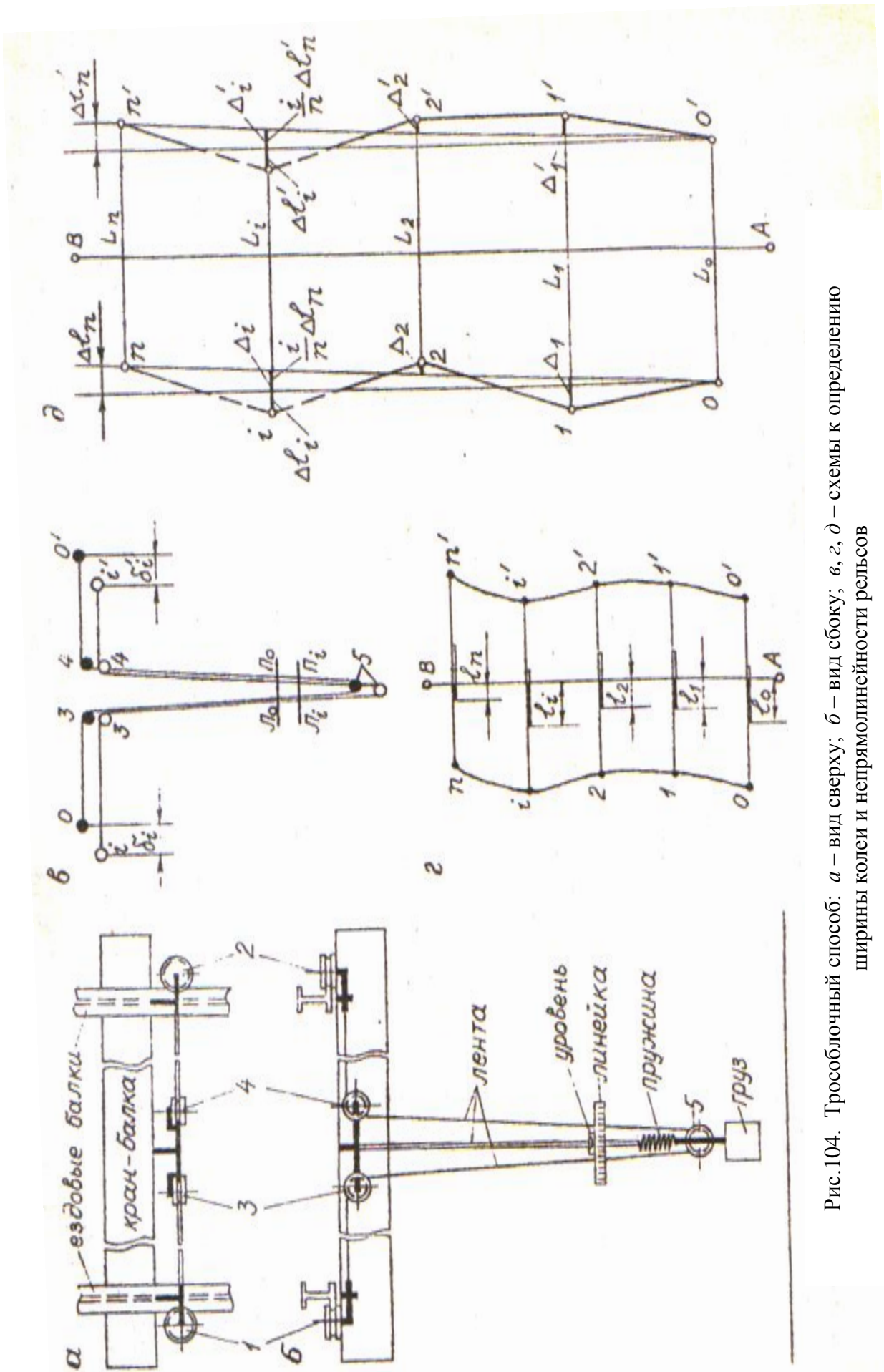


Рис.104. Трособлочный способ: а – вид сверху; б – вид сбоку; в, г, д – схемы к определению ширины колеи и непрямолинейности рельсов

По полученным значениям  $L_i$  судят об отклонениях ширины колеи подкранового пути от проектного значения.

Отклонения рельсов (ездовых балок) от прямой линии  $0-n$  и  $0'-n'$ , соединяющей их начальные и конечные точки, следует вычислять в общем виде по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta_i &= \Delta l_i - \frac{i}{n} \Delta l_n + \delta_i = (l_i - l_0) - \frac{i}{n} (l_n - l_0) + \delta_i, \\ \Delta'_i &= \Delta l'_i - \frac{i}{n} \Delta l'_n + \delta'_i = (l_i - l_0) - \frac{i}{n} (l_n - l_0) + \delta'_i,\end{aligned}\tag{111}$$

причём, необходимо учитывать знак разности в скобках и знаки  $\delta_i$  и  $\delta'_i$ .

Если подсчитанные по этим формулам значения  $\Delta_i$  и  $\Delta'_i$  получились со знаком плюс, это означает отклонение рельса влево от линии  $0-n$  или  $0'-n'$ . Знак минус означает отклонение рельса вправо. При параллельности  $AB$  и  $0-n$  формулы значительно упрощаются.

Способ является универсальным и применим в условиях, исключающих использование других известных способов. Лабораторные испытания и практическое опробование способа на ТЭЦ Нижегородской области показали, что он обеспечивает необходимую точность при одновременном повышении безопасности работ и производительности труда.

### 5.3. Определение планово-высотного положения подкрановых балок

Планово-высотное положение подкрановой балки и её соосность с подкрановым рельсом является одной из составляющих, характеризующих, во-первых, состояние подкрановых путей и, во-вторых, служит основой для проекта их рихтовки.

В работе [142] описан прибор, позволяющий определять горизонтальные отклонения осей подкрановых рельсов и балок от проектного положения. Он имеет (рис. 105) центрирующую каретку 1 со скобой 2 и экраном 3 с делениями. Горизонтальная шкала 4 служит для центрирования теодолита над осью рельса и измерения ширины подкранового пути. Винт 5 с правой и левой резьбой предназначен для центрирования каретки по оси рельса с помощью губок 6 и 7 посредством штурвала 8. На каретке имеется уровень 9 и установочный винт 10 для контроля её положения. Пластины 11 служат для крепления полотна рулетки при измерении ширины колеи.

Установив каретку на рельс 12, вращением штурвала 8 приводят центральные линии обеих шкал в положение, точно соответствующее оси рельса. При этом прямоугольный паз для направляющей скобы 13 обеспечивает касание упора 14 вертикальной стенки подкрановой балки 15. По указателю 16 определяют величину отклонения осей рельса и балки. Винт 17 служит для настройки скобы 2 на балках с разной толщиной вертикальной стенки.

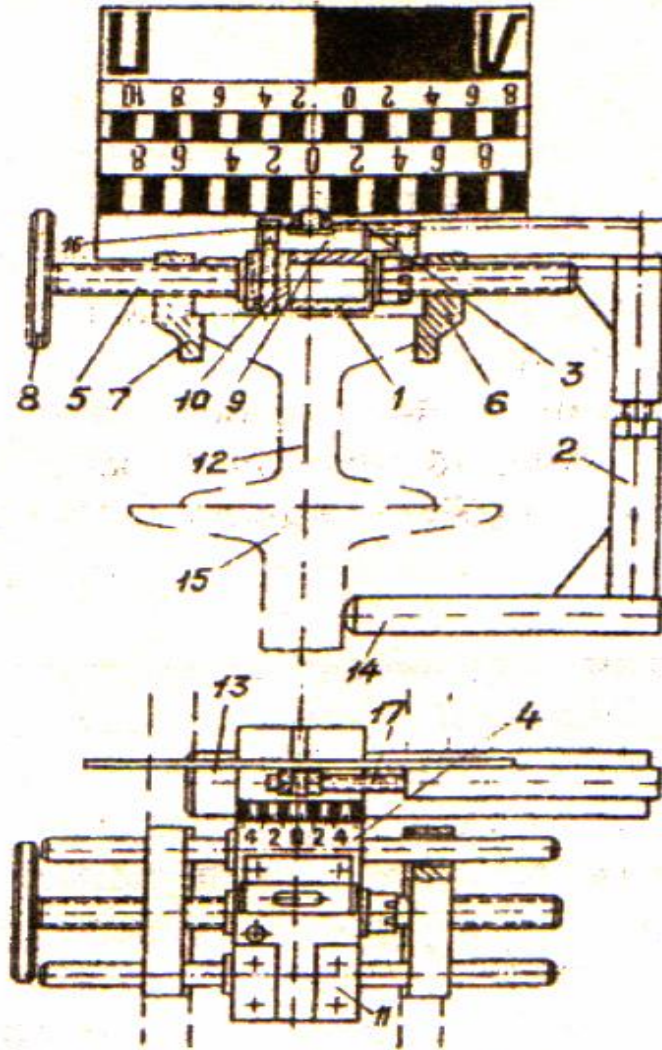


Рис. 105. Прибор для определения положения осей подкрановых рельсов и балок

Для определения отклонений оси рельса от прямой используют теодолит, который центрируют по горизонтальной шкале прибора. В другом конце рельса устанавливают второй прибор и на нулевой штрих его вертикальной шкалы наводят вертикальную нить сетки теодолита. Затем прибор последовательно устанавливают в контролируемых точках, и по шкале экрана определяют отклонения оси рельса от прямой линии и взаимное смещение осей рельса и балки. Предельная длина контролируемого участка 70 м.

При работе на втором рельсе за его ось принимают прямую, проходящую параллельно первому створу и расположенную от него на расстоянии, равном проектной ширине колеи. Саму ширину колеи измеряют в начале и конце рельсового пути, а все дальнейшие вычисления ведут по изложенному в разделе 3.2.1. методу «четырёхугольника».

В работе [64] предложен ряд методов и приборов для определения положения подкрановых балок. Один прибор (рис. 106, а, б) предназначен для определения высоты балки. Он состоит из каретки 1 и укрепленного на кронштейне 2 направляющего вертикального цилиндра 4. Каретка удерживается на головке рельса роликами 3, а в цилиндре перемещается стержень 6,

имеющий в верхней части указатель отклонения 7 и зажим нити 5, а нижний конец его заострён.

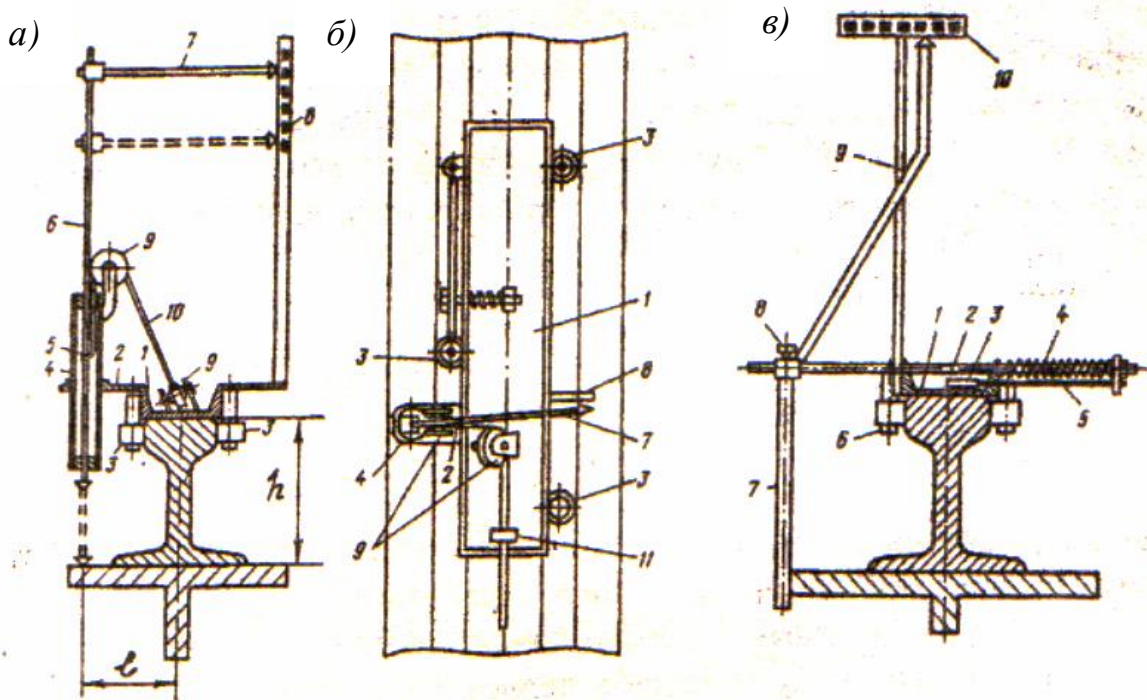


Рис. 106. Приборы для съёмки подкрановой балки

В свободном состоянии за счёт своей массы стержень займёт нижнее положение, которое зафиксирует указатель 7 по шкале 8, жестко прикреплённой к основанию каретки. Это будет соответствовать разности высот между головкой рельса и верхней образующей балки.

Передвижение каретки осуществляется дистанционно с помощью гибкой нити, которая одним концом прикреплена зажимом 5 к стержню 6, а вторым через блоки 9 – к мостовому крану, трособлочной системе или специальной тележке, передвигающейся по рельсу по команде. Нить 10 будет натягиваться и поднимать стержень до тех пор, пока упор 11 не дойдёт до переднего края каретки и потянет всю каретку по головке рельса.

После остановки каретки и ослабления нити стержень опустится вниз и на шкале 8 зафиксирует новое положение указателя. При удалении прибора отсчёт можно брать с помощью бинокля, теодолита (нивелира) или фоторегистрирующего устройства.

Точность получаемых результатов в значительной степени зависит от горизонтальности головки рельса и от величины  $l$  отстояния стержня 6 от оси каретки. При  $l$  равном 150-200 мм погрешность за наклон может достигать 2,6-3,3 мм при угле наклона  $\nu = 1^\circ$  и 12,6-16,8 мм при  $\nu = 5^\circ$ . Поэтому в отсчёты по шкале 8 необходимо вводить поправки со знаком минус, если каретка наклонена в сторону стержня, и со знаком плюс, – если в противоположную сторону. Поправки вычисляют следующим образом:

$$\Delta = h \left( 1 - \frac{1}{\cos \nu} \right) + \operatorname{tg} \nu, \quad (112)$$

где угол наклона каретки  $\nu$  автор предлагает определять по фотоснимкам или иным другим способом.

Другой предлагаемый прибор (рис. 106, в) предназначен для измерения несоосности подкрановой балки и рельса. Он состоит из аналогичной каретки 1, удерживаемой на головке рельса прижимными роликами 6. Прижимной стержень 7 со стрелкой 9 закреплён винтом 8 на горизонтальном стержне 2, снабжённым пружиной 4. При передвижении прибора прижимной стержень с помощью нити 5 и блока 3 отделяется от балки. Отсчёт после остановки прибора фиксируется на шкале 10. В этот отсчёт также необходимо вводить поправки (112) за наклон каретки, а при большой толщине  $a$  подкрановой железобетонной балки необходимо вводить дополнительную поправку:

$$\Delta' = \frac{a}{2} \sin \nu, \quad (113)$$

знак которой всегда отрицательный при любых наклонах каретки.

Автор приборов считает, что в сочетании с фоторегистрирующими устройствами можно в определённой мере автоматизировать процесс измерений. Причём установка обоих приборов на одну каретку с экраном жидкостно-поплавкового или маятникового типа [63] позволит на одном снимке получать информацию о плано-высотном положении рельса и балки.

В работе [107] описан прибор, который предусматривает создание в цехе на уровне кранового пути так называемой базовой трапеции 1 (рис. 107, а). Её стороны 2 являются линейными базисами, а основания направлены вдоль внутренних граней рельсов и ориентированы совместно с лазерными визирами 3 параллельно проектному положению кранового пути.

Базовую трапецию закрепляют постоянными знаками в виде кронштейнов 4, установленных над центрами марок 5, заложенных в фундамент колонн (рис. 107, б).

На обе нитки кранового пути устанавливают отклонометры 6, которые состоят из каретки 7 и присоединительного приспособления 8. Телескопическая вилка этого приспособления позволяет соединять каретку с мостом крана на таком от него расстоянии, на котором показания отклонений по высоте не зависят от упругой деформации кранового пути, возникающей от веса крана.

Каретка (рис. 107, в) представляет собой раму 13 с колёсами, на которой смонтирована рычажно-шарнирная система 11, координатный экран 15, подвижные измерительные упоры для измерения смещения колонн 10 и балок 16, курвиметр 17. Рычажно-шарнирная система удерживает раму каретки при помощи пружины 18 по оси контролируемого рельса.

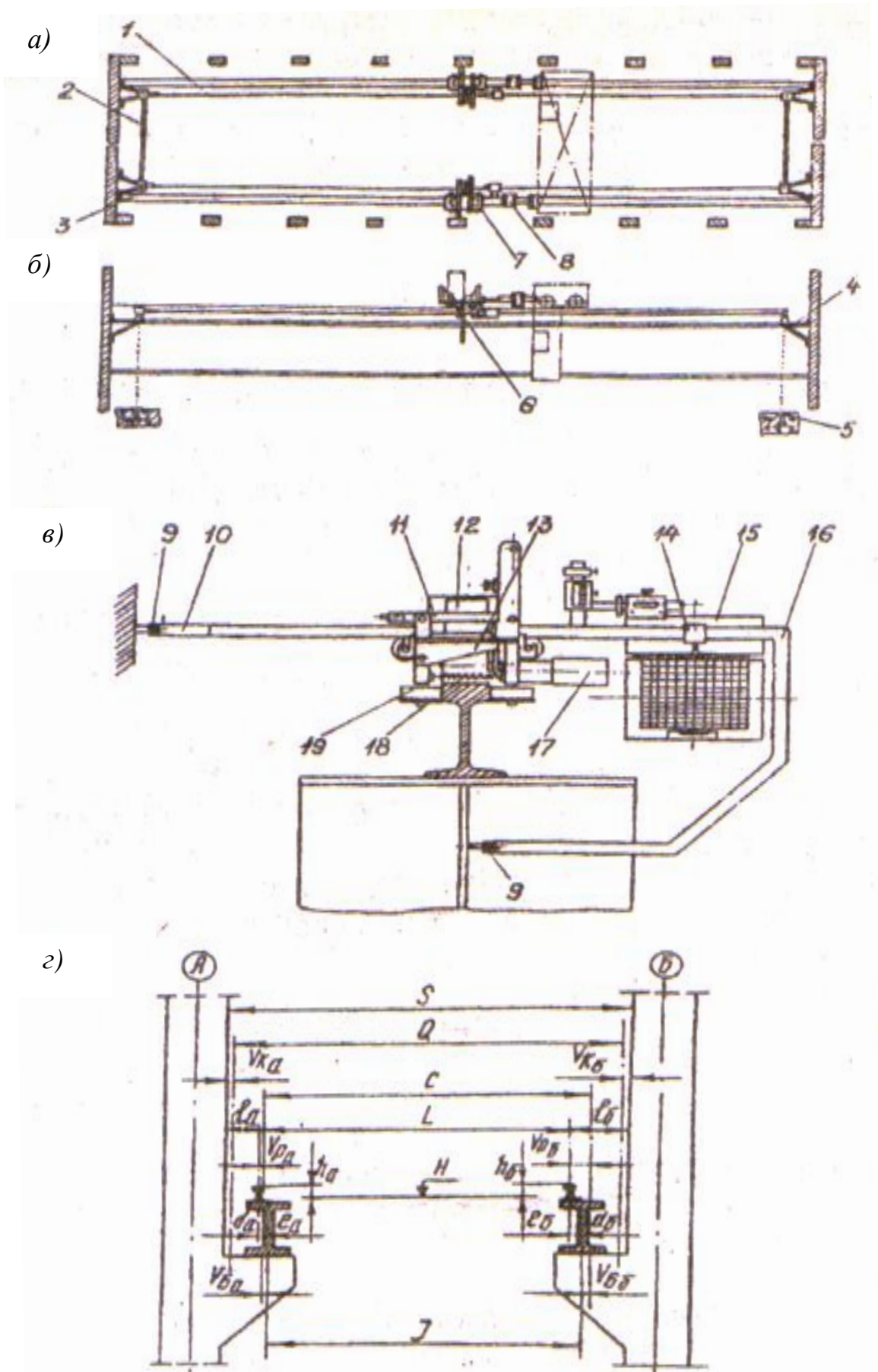


Рис. 107. Лазерно-киномеханический способ съёмки: а – вид сверху; б – вид сбоку; в – каретка с координатным экраном; г – измеряемые параметры

Координатный экран изготовлен из прозрачного материала, на матовом фоне которого нанесена двухмиллиметровая сетка квадратов и шкала смещений балок и колонн. Напротив экрана расположены указатели смещений 14, подвижно соединённые с измерительными упорами 10 и 16. Эти упоры устанавливаются в исходное и рабочее положение при помощи электродвигателя 12 с применением фрикционной передачи и концевых выключателей 9. Сбоку рамы 13 укреплена специальная консоль для установки за экраном кино или телекамеры.

Лазерные визиры 3 устанавливаются на кронштейны 4 и ориентируют лазерные лучи 1 по основаниям базовой трапеции. Затем устанавливаются отклонеры 6 на обе нитки кранового пути, настраивают все показания по лучу лазера и указателям 14 на координатном экране 15 в исходное нулевое положение. Крановщик, управляя краном, останавливает его в намеченных для контроля местах. Проверяющий, находясь в кабине крана, перемещает с помощью пульта управления подвижные измерительные упоры 10 и 16, устанавливая их в рабочее положение до соприкосновения их воспринимающих частей с гранями колонн и балок, и регистрирует результаты измерений по экрану на плёнку кинокамеры или визуально берёт отсчёты по изображению на телеэкране.

В другой работе [108] приведены результаты исследований лазерно-киномеханического способа в производственных условиях действующего цеха. Прежде всего отмечается, что с помощью этого способа одновременно можно определить по каждой оси колонн 30 геометрических параметров в виде отсчётов по координатному экрану, автоматически регистрируемых на киноплёнку.

Таковыми параметрами являются: три превышения головок рельсов; шесть отклонений системы конструкций от прямолинейности; двенадцать отклонений системы конструкций в плане и по высоте от проектного положения; девять расстояний между основными конструктивными элементами системы.

Некоторые из них представлены на рис. 107,  $\varepsilon$  и обозначают:  $V_{Ka}$ ,  $V_{Kб}$  – отклонения внутренней грани колонны от проектного положения;  $l_a$ ,  $l_б$  – действительное расстояние от оси рельса до внутренней грани колонны;  $V_{Pa}$ ,  $V_{Pб}$  – отклонения оси рельса от проектного положения;  $h_a$ ,  $h_б$  – превышение рельсов над проектным уровнем;  $e_a$ ,  $e_б$  – смещение оси рельса с оси подкрановой балки;  $d_a$ ,  $d_б$  – действительные расстояния от оси подкрановой балки до внутренней грани колонны;  $V_{Ba}$ ,  $V_{Bб}$  – отклонения оси подкрановой балки от проектного положения.

Испытания лазерно-киномеханического устройства с использованием кинокамеры «Альфа-16», с последующей обработкой на монтажном столике «Купава-16» результатов съёмки кранового пути длиной 168 м, позволили определить точность такого устройства, которая характеризуется следующими показателями: СКО измерений до колонн 1,1 мм, до оси рельсов 1,2 мм,



до головки рельсов 0,6 мм, до оси балки 0,9 мм; систематическая ошибка соответственно составила 1,0; 1,5; 0,8; 0,8 мм.

## Глава 6. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СЪЕМКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Технологический процесс геодезического контроля подкрановых путей представляет совокупность приёмов и способов получения и обработки информации о планово-высотном положении крановых рельсов. Он включает такие основные операции, как определение прямолинейности и горизонтальности рельсов и ширины кранового пути, обработку результатов измерений, составление графической документации, проектирование оптимального положения рельсов в плане и по высоте.

Выполнение любой из этих операций может осуществляться с использованием простых, полуавтоматизированных и автоматизированных технических средств. Под простыми понимаются технические средства, при помощи которых получение и обработка информации осуществляется непосредственно человеком. Автоматизированные технические средства направляют и контролируют осуществление этого процесса по заданным алгоритмам без непосредственного вмешательства человека. Полуавтоматизированные технические средства занимают промежуточную позицию.

Следует признать, что до настоящего времени наибольшим распространением на практике пользуются простые технические средства. В качестве примера можно привести определение непрямолинейности рельса методом струны или бокового нивелирования с помощью оптического створа, задаваемого теодолитом; непосредственное измерение ширины колеи с помощью рулетки; геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое нивелирование с использованием нивелира, теодолита, гидронивелира; обработка результатов съёмки с помощью микрокалькуляторов; графоаналитические работы по оформлению документации, определению величин рихтовки подкрановых рельсов и др. Применяемые при этом различные приспособления призваны в той или иной мере механизировать процесс выполнения измерений с целью обеспечения возможности его осуществления, повышения точности, безопасности работ и т. п.

Полуавтоматизированные технические средства позволяют частично исключить участие человека из процесса измерений. То есть имеет место частичная автоматизация какой-либо операции геодезического контроля, например: автоматизация положения экран-марки; электро-, фото-, телерегистрация положения марки или светового пятна; автоматизация перемещения визирной оси и т. д.

Полная автоматизация как отдельных операций, так и комплексного контроля пространственного положения подкранового пути предусматривает разработку высоких технологий формирования планово-высотного обоснования, дистанционную регистрацию получаемой информации, её обработку

на ЭВМ с графическим оформлением и проектированием оптимальных вариантов рихтовки. Этого можно достичь с помощью автоматизированных технических средств.

Разработка автоматизированных технологий контроля геометрических параметров подкрановых путей ведётся по двум основным направлениям. Первое направление предусматривает создание технологий с частичной или полной автоматизацией работ при съёмке подкрановых путей. Задача второго направления – автоматизация процесса обработки материалов съёмки и оптимизации положения подкрановых рельсов.

В соответствии с этим можно выделить следующие операции технологического процесса контроля, которые необходимо автоматизировать: формирование планово-высотного обоснования; последовательное обозначение планово-высотного положения точек рельсовых осей; фиксация положения точек рельсовых осей с целью контроля прямолинейности и горизонтальности рельсов и ширины колеи кранового пути; регистрация полученной информации и её предварительная обработка для ввода в ЭВМ; вычерчивание графиков планово-высотного положения рельсов; определение оптимальных значений элементов рихтовки крановых рельсов.

Основными факторами, во многом определяющими область применения любого геодезического прибора или системы являются принцип действия, конструктивные особенности и точность. В процессе разработки прибора первые два фактора относятся к области изобретательства, а третий составляет предмет изучения теории точности. Методы теории точности позволяют проанализировать точность прибора при его проектировании, изготовлении и эксплуатации.

В качестве примера такого подхода приведём работу [37], в которой приведена методика расчёта точности автоматизированной установки для контроля прямолинейности и горизонтальности подкрановых путей мостовых кранов. Здесь традиционно положение рельса регистрируется одновременно в вертикальной и горизонтальных плоскостях относительно опорного лазерного пучка. Регистрация положения этого пучка предусматривается осуществлять на кинофотоплёнку с помощью кинокамеры, смонтированной на блоке регистратора. Блок перемещается по рельсу с помощью механической тяги.

В основу расчёта точности такой установки положена структурная схема формирования полной ошибки, основными компонентами которой являются ошибки регистрации лазерного пучка и его нестабильности. В соответствии с этим СКО определения непрямолинейности и негоризонтальности рассчитываются по формулам:

$$m_{\text{НП}}^2 = 2(m_{\text{Б.НАК}}^2 + m_{\text{РАЗ}}^2 + m_{\text{РАСШ}}^2 + m_{\text{СТАБ}}^2 + m_{\text{ГОР}}^2), \quad (114)$$

$$m_{\text{НГ}}^2 = 2(m_{\text{Б.НАК}}^2 + m_{\text{РАСШ}}^2 + m_{\text{СТАБ}}^2 + m_{\text{ВЕР}}^2).$$

В этих формулах ошибки  $m_{\text{Б.НАК}}$  и  $m_{\text{В.НАК}}$  учитывают влияние бокового и вертикального наклона экрана, а  $m_{\text{РАЗ}}$  – его разворота. Погрешность

расшифровки  $m_{\text{РАСШ}}$  зависит от точности координатно-измерительного столика. Ошибка  $m_{\text{СТАБ}}$  за счёт нестабильности лазерного пучка обусловлена главным образом нестабильностью его формирователя, а влияние горизонтальной  $m_{\text{ГОР}}$  и вертикальной  $m_{\text{ВЕР}}$  должно оцениваться, исходя из конкретных условий. Наконец, поправочный коэффициент 2 служит для неучтённых факторов.

Рассчитанные в работе [37] значения ошибок определения непрямолинейности и негоризонтальности рельсового пути составили соответственно 2,4 мм и 1,6 мм. Подобный структурный подход в формировании полной ошибки может быть использован при разработке различных автоматизированных систем.

### 6.1. Технические средства автоматизации геодезической съёмки подкрановых путей

В предыдущих главах подробно рассмотрены существующие способы формирования планово-высотного обоснования геодезической съёмки крановых рельсов. Автоматизация этого процесса может быть достигнута с помощью ориентированного в пространстве лазерного пучка. Примером может служить применение пентагональных систем (рис. 47). Перспективно использование лазерного пучка, развёрнутого в горизонтальную плоскость (для нивелирования) и в вертикальную плоскость (для определения непрямолинейности).

Обозначение планово-высотного положения точек рельсовых осей осуществляется с помощью различных визирных целей неподвижных и подвижных. Неподвижные цели, установленные на специальные дистанционно управляемые каретки, автоматически фиксируют ось рельса (рис. 8 и 9). Автоматизация их положения в вертикальной плоскости обеспечивается трособлочным (рис. 41, *a*), жидкостно-поплавковым, маятниковым или электрическим типом стабилизации. Подвижные дистанционно управляемые визирные цели (рис. 10) предназначены для автоматизации определения непрямолинейности рельсовых осей.

Дистанционная фото-, кино-, телерегистрация служит для автоматизации фиксации положения визирных целей или других индикаторов относительно планово-высотного обоснования. Примером может служить фотографическая регистрация лазерного луча (рис. 32) с помощью фотокамеры, с помощью фотоприёмных устройств (рис. 34, *a*) или киномеханическим способом (рис. 107).

Для автоматической регистрации расстояния между рельсами [116] предназначено устройство (рис. 108). При движении крана ролик 2 прокатывается по боковой грани головки рельса 1. Ролик через тягу с грузом 3 передаёт отсчёт положения на шкив 4 со стрелкой индикатора. Два таких устройства, закреплённые на балке крана, позволят путём перемещения крана производить непосредственные измерения ширины колеи.

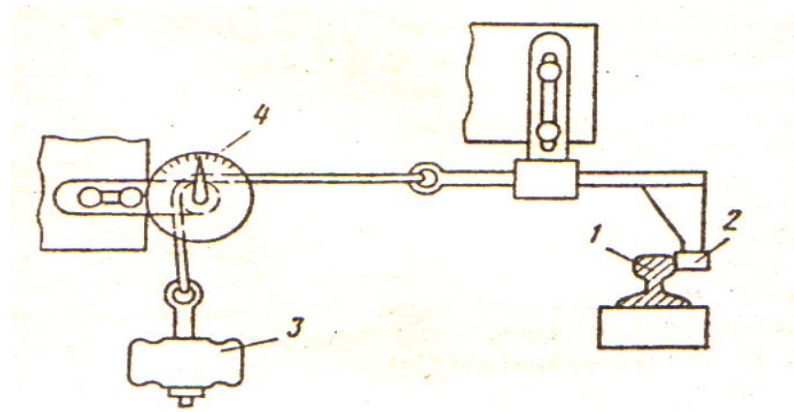


Рис. 108. Регистратор отклонений рельса

В устройстве (рис. 14) происходит при движении крана запись на барабане относительных отклонений ширины колеи. А в основу автоматического регистратора относительных отклонений ширины колеи (рис. 11) положен принцип электрического измерения линейных величин.

В системе автоматизированного измерения ширины колеи (рис. 32) первоначально в качестве экрана использовалась фотоплёнка, которая протягивалась синхронно с движением крана. Последующие конструкции были снабжены узкоплёночной кинокамерой с покадровой съёмкой пятна лазерного пучка на матовом экране. Моменты покадровой съёмки определялись замыканием контактов от ролика, прокатывающегося по рельсу. СКО регистрации положения рельса в такой системе составляет около 2 мм на длине 100 м.

Известна гидрирующая система, которая непрерывно следит за положением лазерного пучка и приводит в движение пишущее перо для регистрации результатов измерений на бумажной ленте (рис. 109).

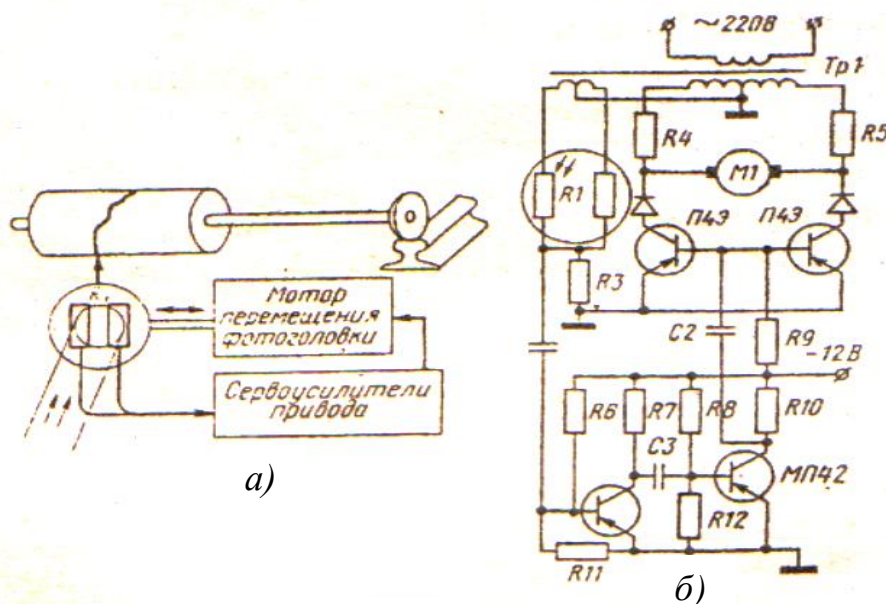


Рис. 109. Принцип работы (а) и электрическая схема (б) гидрирующей системы

Система содержит два фоторезистора, на которые падает луч лазера. Сопротивление фоторезистора уменьшается пропорционально засветке и в зависимости от положения пучка изменяется ток первого или второго фоторезистора.

Электрический сигнал на сопротивлении в общей цепи будет при этом изменять свою величину и фазу, принимая нулевое значение при равенстве токов и среднем положении пучка. Усиленный сигнал приводит в действие мотор, перемещающий фоторезисторы и пишущее перо в соответствии с перемещением луча лазера. Погрешность измерения такой системы около 2 мм на пути до 200 м.

На рис. 110 показана схема измерений с дистанционно управляемой подвижной маркой, которая перемещается совместно с краном. Марка связана с регистратором смещения рельса от створа 1 и с регистратором межрельсового расстояния 2.

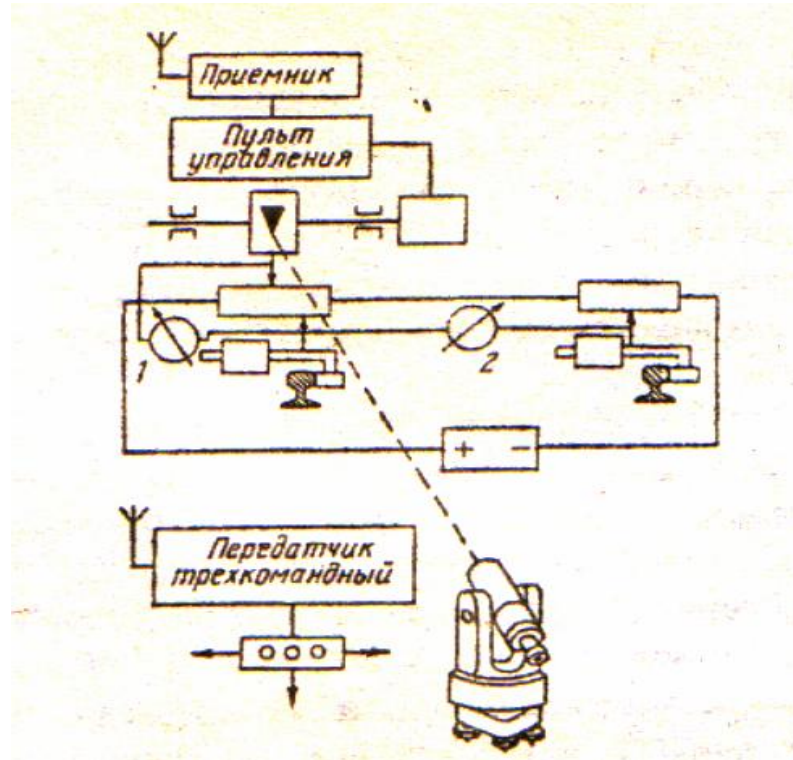


Рис. 110. Схема измерений с дистанционно управляемой маркой

Оптическую ось теодолита направляют вдоль проектной оси рельса так, что марка постоянно находится в поле зрения. При помощи командной аппаратуры марку выводят в положение осевой линии. Марка механически или электрически связана с регистрирующим устройством записи на бумажной ленте.

В другой схеме марка связана с корпусами линейных потенциометров, ползунки которых в свою очередь связаны с контролируемыми рельсами. В результате сопротивление между движками потенциометров пропорционально изменениям межрельсового расстояния, а сопротивление между и концевым выводом одного из потенциометров соответствует отклонению оси рельса от оптического створа.

Фирмой «Карл Цейсс» (Йена) разработан теодолит, предназначенный для автоматического управления световой маркой (рис. 111).

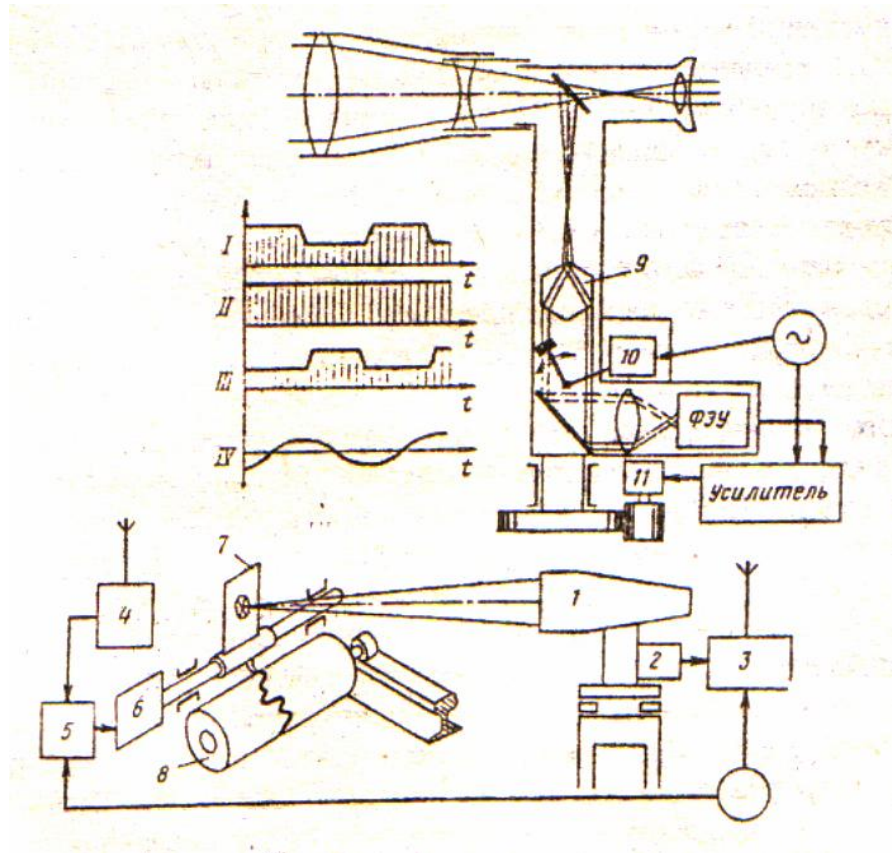


Рис. 111. Устройство теодолита-целеискателя системы «Карл Цейсс» (Йена)

В этом приборе свет от светящейся марки 7, пройдя через зрительную трубу теодолита 1, попадает на грант светоделительной призмы 9, проходит модулятор 10, который, совершая колебания, поочерёдно перекрывает левый и правый лучи. Если световые потоки обоих лучей равны, то освещённость фотоэлемента 2 остаётся неизменной. При смещении марки с оси, на выходе модулятора и фотоэлемента появятся импульсы, амплитуда и фаза которых определяются величиной этого смещения.

Этот сигнал с помощью передатчика 3 может быть транслирован и через приёмник 4, поступив на сервоусилитель 5, приводит в движение мотор 6 привода марки 7, автоматически перемещая её на линию оптической оси теодолита. Эти перемещения могут быть записаны на бумажной ленте 8.

На рис. 111 на графиках показаны: *I* – сигнал при отклонении марки влево; *II* – сигнал при точном наведении; *III* – сигнал при отклонении марки вправо; *IV* – опорный сигнал сети.

В работе [62] описан метод, основанный на применении дистанционной фоторегистрации. Он заключается в том, что на одном конце рельса устанавливается фоторегистрирующее устройство 1, которое ориентируется по марке 3, установленной на другом конце рельса. Планово-высотное положение рельса проверяется с помощью экрана 2, смонтированного в установлен-

ном на основании 4 каркасе 5 (рис. 112, *а*). В верхней части каркаса имеется винт 6, приводимый во вращение микроэлектродвигателем 7, питание которого осуществляется от двух батареек. На винте свободно подвешен стержень 8, занимающий вертикальное положение за счёт утяжелённой нижней части, оканчивающейся пружинящей пластинкой, расположенной между двумя клеммами 9.

После установки экрана в контролируемой точке, в случае наклона каркаса, происходит наклон стержня и соприкосновение его с одной из клемм. В связи с этим происходит замыкание цепи А (рис. 112, *б*), включается электродвигатель и, приводя во вращение винт 6, передвигает стержень вправо до тех пор, пока не произойдёт размыкание цепи.

При замыкании цепи Б стержень под действием электродвигателя переместится влево до размыкания контактов, что будет соответствовать его вертикальному положению строго по оси рельса. Это обеспечивается роликами 10 и 11.

В качестве фоторегистрирующего устройства 1 используется фотонивелир [61]. Он состоит из зеркальной фотокамеры с автоматической перемоткой плёнки и зрительной трубы, соединённой с фотоаппаратом специальной переходной трубкой. Изображение, проходящее через зрительную трубу, проецируется в кадрирующем окне фотокамеры. При съёмке высота установки фотонивелира должна быть равна расстоянию от центра марки экрана 2 до головки рельса.

Последовательно устанавливая экран в контролируемых точках, фокусируют его изображение и производят экспонирование. Аналогичные действия выполняют на втором рельсе, увязав предварительно точки двух рельсов по высоте фотонивелиром и в плане с помощью рулетки.

По окончании съёмки фотоплёнку проявляют и печатают снимки с увеличением в 3-5 раз. На снимках (рис. 112, *в*) фиксируется сетка нитей фотонивелира, относительно которой определяется положение марки-экрана: отклонения  $u$  и превышения  $h$ . Для приведения измеренных на снимках величин к одному масштабу используют сантиметровую шкалу на стержне экрана. На дальности 48 м достигнута предельная ошибка определения отклонений 4,8 мм.

Некоторые особенности автоматических способов и средств контроля подкрановых путей рассмотрены в работе [43]. Сделан вывод о целесообразности задания опорного направления посредством лазерного излучения. Предложены блок-схема и конструктивное решение автоматического фотоэлектрического прибора для двухкоординатной выверки подкрановых путей.

В институте ВИОГЕМ разработана и испытана серия приборов для съёмки подкрановых путей под общим названием «Лазерные профолографы» ЛП [6].

В лазерном профилографе ЛП-1 предусмотрена фоторегистрация положения светового пятна, спроектированного на специальный экран, установленный на каретке, прикреплённой к крану.

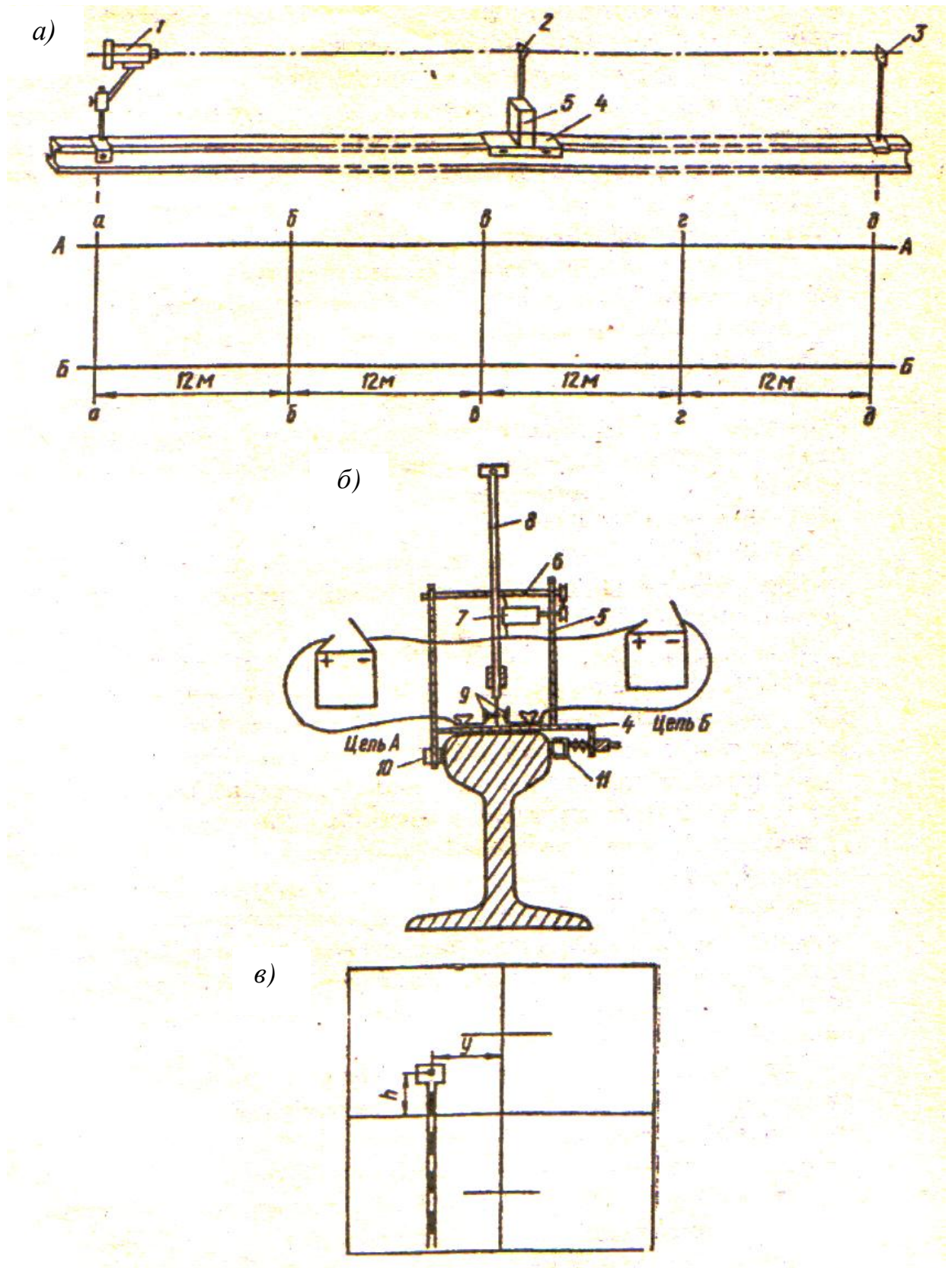


Рис. 112. Схема дистанционной фоторегистрации (а) марки-экрана (б) на снимке (в)

При передвижении крана каретка фиксирует ось симметрии головки рельса. Управление фоторегистрацией производится из кабины машиниста крана в необходимый момент времени. Для задания направления можно ис-



пользовать лазерный указатель УНЛ любой конструкции, который должен быть установлен так, чтобы лазерный пучок около указателя и в конце рельсового пути совпадал с осью симметрии рельса и был горизонтален. Фоторегистрирующее устройство представляет собой фотоаппарат, снабжённый лентопротяжным механизмом с автоматическим спусковым устройством, блок питания и экран.

После съёмки на первом рельсе передачу отметки на второй рельс производят с помощью указателя направления, отсчитывая показания по рейке относительно центра лазерного пятна. Затем переставляют указатель и отслеживающее устройство на другой рельс и, прокатывая каретку, производят фоторегистрацию положения второго рельса относительно лазерного луча. После измерения расстояния между рельсами в начале и конце рельсового пути получают все данные для определения планово-высотного положения контролируемого участка.

Отличительной особенностью лазерного профилографа ЛП-2 является то, что УНЛ с прозрачным координатным экраном и поворотным зеркалом устанавливается на одном рельсе. На другом рельсе устанавливается второе поворотное зеркало. Причём зеркала устанавливаются так, чтобы лазерные лучи занимали строго определённое положение относительно осей рельсов. К крану прикрепляют две каретки с уголковыми отражателями, которые отражают падающий на них световой пучок в обратном направлении, параллельном первоначальному, независимо от угла поворота отражателя. При прокатывании кареток краном смещение отражателя в какую-либо сторону вызывает соответствующее смещение пучка, которое регистрируется визуально на неподвижном координатном экране.

Лазерный профилограф ЛП-3 был выпущен небольшой партией под названием ПЛ-VI.I (рис. 113, б). Он состоит из приспособления 1 для крепления приёмного устройства к крану, сетевого блока питания 2, приёмного устройства 3, лазерного указателя направления 4, пульта управления 5, автономного блока питания 6.

Схема съёмки прибором ПЛ-VI.I показана на рис. 113, а. На одном конце рельса 4 устанавливают лазерный указатель направления 1 на подставке 2 с самоцентрирующимися лапками 3. Каретка с приёмным устройством 6 и роликом-копиром 7 крепится с помощью кронштейнов 8 к мосту крана. Стрелочный пульт управления 9 располагается в кабине машиниста крана и кабелем управления соединяется с приёмным устройством. Лазерный пучок 5 приводят в горизонтальное положение и ориентируют по оси рельса.

Съёмка рельса заключается в прокатывании крана в сторону УНЛ с остановкой в заданных местах и взятии отсчётов по шкалам пульта управления. Каждый из стрелочных приборов этого пульта показывает отклонение рельса от прямолинейного в плане и по высоте. По окончании съёмки одного рельса передают отметку на другой рельс путём нивелирования по лазерному пучку. Для этого в УНЛ имеется специальное приспособление для его поворота на  $90^\circ$ . В качестве рейки можно использовать металлическую линейку с милли-

метровыми делениями длиной не менее 40 см. Задний отсчёт берут возле УНЛ, передний – на противоположном рельсе.

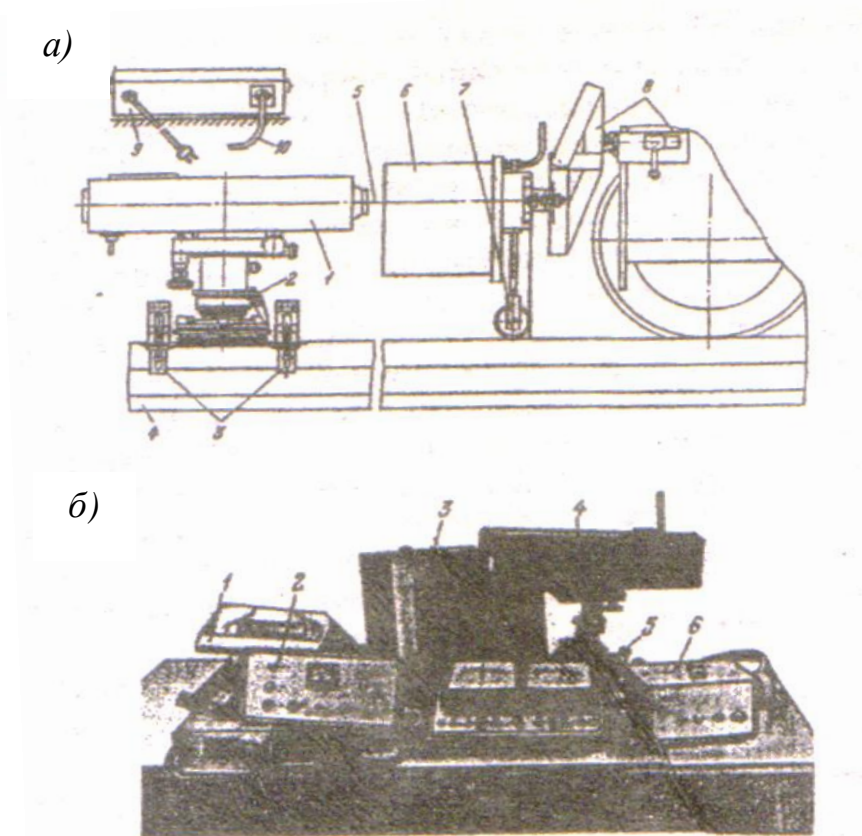


Рис. 113. Схема (а) и комплект аппаратуры (б) лазерного профилографа ПЛ-VI.1

После этого монтируют аппаратуру на втором рельсе и производят его съёмку. По окончании съёмочных работ измеряют рулеткой расстояние между рельсами в начале и конце кранового пути.

С помощью ПЛ-VI.1 можно производить съёмку кранового пути длиной до 150 м с СКО измерений на длине 100 м в плане и по высоте 3 мм. Масса комплекта 31,5 кг.

Фирмой «Карл Цейсс» (Йена) разработана лазерная система Нивемат 2003К, позволяющая полностью автоматизировать процесс съёмки подкранового рельса. Лазерный прибор 1 (рис. 114) закрепляют на рельсе и ориентируют так, чтобы лазерный луч, преобразуемый цилиндрической линзой в горизонтальный или вертикальный сектор, был направлен вдоль рельса.

На противоположном конце рельса устанавливают тележку 6, содержащую радиоприёмник 3, цифровое табло 4, боковые направляющие ролики 5 и фотоэлектрический поисковый приёмник 2. Системой управляют по радио с удобного места 7.

По радиокоманде тележка передвигается в необходимые точки съёмки со скоростью 0,4-0,5 м/с. Фотоприёмник, перемещаясь поперёк лазерного сектора со скоростью 7 мм/с, автоматически отыскивает максимум интенсивности излучения и считывает с точностью 0,1 мм отклонение фактического положения рельса от проектного, задаваемого лазерным прибором. Ре-

зультаты измерений телеметрически передаются в регистратор, расположенный внизу.

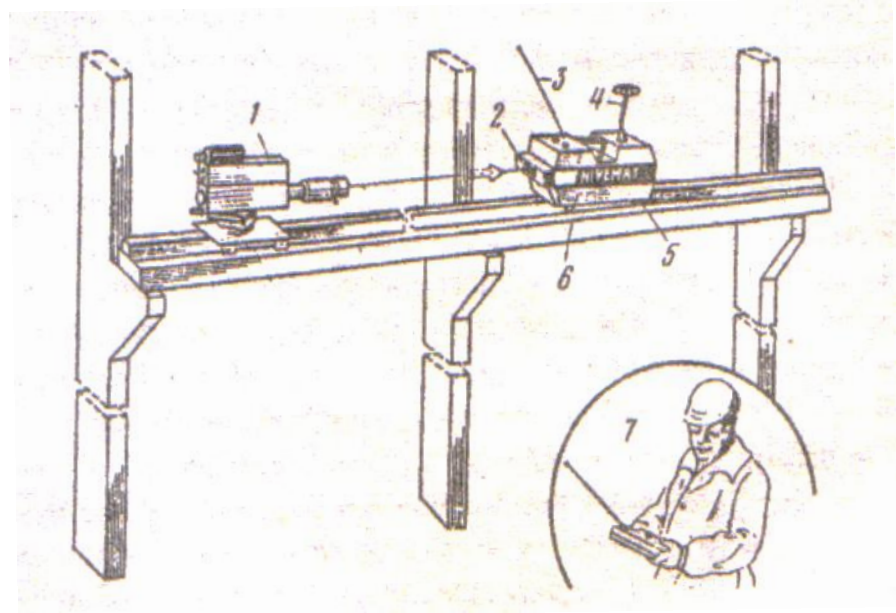


Рис. 114. Схема съёмки подкрановых путей лазерной системой Нивемат 2003К

Система питания тележки состоит из батарей напряжением 12в с продолжительностью работы 8 часов. Для расстояний 100 м обеспечивается точность определения отклонений 0,4 мм по высоте и 0,6 мм в плане. Насадка на лазерный прибор может содержать либо две взаимно перпендикулярные цилиндрические линзы, либо одну линзу с возможностью её поворота на 90°. Установленный на тележке компенсатор исключает влияние поперечного наклона головки рельса в диапазоне  $\pm 4,5^\circ$ . Направляющие ролики рассчитаны на установку тележки на рельсах шириной 50-100 мм.

В работе [155] даётся положительная оценка системе Нивемат 2003К, подчёркивается простота, высокая точность и безопасность измерительного процесса. Этот вывод следует из сравнения результатов измерений подкрановых путей обычными способами, обеспечивающими ошибки в плане 0,59 мм и по высоте 0,57 мм, при помощи тележки с дистанционным управлением конструкции НИИГТК б. ЧССР (щ,50 мм и 0,51 мм) и лазерной системы Нивемат 2003К (0,34 мм и 0,49 мм).

В работе [3] предлагается устройство для контроля прямолинейности подкрановых рельсов. Оно содержит установленный в начале контролируемого участка приёмоизлучатель с лазерным источником света, светоделителем, коллиматором и фотоприёмником. Посылаемый лазерный пучок отражается от репроотражателя, установленного на перемещающейся по рельсу телеуправляемой каретке, и возвращается в приёмоизлучатель. Через формирователь оптических импульсов лазерный пучок поступает на позиционно-чувствительный фотоприёмник, преобразующий положение светового пятна в электрические сигналы, характеризующие координаты луча, которые через анализатор поступают в регистратор. В этот же регистратор поступают принятые приёмником радиосигналы от установленного на каретке формирова-

теля меток дальности, а также принятые вторым приёмником сигналы от переносного пульта управления, содержащего передатчик команд управления электроприводом каретки и работой регистратора. Питание устройства осуществляется от присоединённого к приёмоизлучателю блока питания.

В работе [83] предлагается лазерное устройство для непрерывного измерения геометрических параметров рельса в трёх ординатах. Структурная схема прибора содержит установленные на подвижной каретке фотоприёмник и измерительные блоки обработки и отображения сигнала.

Применение лазерных измерительных систем в геодезии сталкивается с проблемой нестабильности лазерного пучка в пространстве, относительно которого определяются поперечные отклонения контролируемых точек. В работе [154] предложен метод решения указанной проблемы путём сопоставления результатов измерений поперечных отклонений с отношением расстояний между предметной и картинной плоскостями. Лазерная измерительная система для контроля подкрановых путей, реализующая этот метод, содержит светодиодный источник излучения, координатно-чувствительный фотоприёмник на базе ПЗС, аналогово-цифровой преобразователь, накопитель, мини-ЭВМ и клавиатуру для управления процессом обработки результатов измерений.

## **6.2. Определение оптимального положения подкрановых путей**

Результаты геодезической съёмки подкрановых путей служат основой для производства рихтовочных работ, обеспечивающих в каждом конкретном случае наиболее оптимальное положение пути. Целью рихтовки является приведение рельсов и подкрановых балок в положение, гарантирующее безопасную работу крана. Это обеспечивается соблюдением технологических допусков: на отклонение ширины колеи от проектного значения; на эксцентриситет рельса относительно оси подкрановой балки; на непрямолинейность рельсовой оси; на габарит (расстояние между осью рельса и колонной) и др.

Методика получения рихтовочных данных заключается в определении положения оформляющей линии и отклонений от неё рельсовой оси. В качестве оформляющих могут быть выравнивающие прямые или кривые линии.

Наиболее просто осуществляется проект рихтовки подкранового пути с помощью оформляющих в виде прямых линий. В работе [21] описаны графический, графо-аналитический и аналитический способы определения положения таких прямых при условии минимума рихтовочных работ. Аналогичные примеры приведены в работе [24].

В целом задача проведения двух выравнивающих прямых имеет различные аналитические решения. Так в работе [8] предлагается оптимизацию рихтовки подкрановых рельсов производить методами математического программирования. В работе [142] рассмотрены три варианта вычисления отклонений рельсов от проектного положения с учётом условий: прямолинейности и параллельности рельсов; прямолинейности, параллельности и миниму-

ма отклонений рельсов от осей подкрановых балок; прямолинейности, параллельности и минимума отклонений рельсов от осей колонн.

В работе [166] аналитическая обработка измеренных абсцисс и ординат осевых точек рельсов осуществляется под условием минимальной суммы отклонений от прямой. В результате получают уравненные величины отклонений осей рельсов от створов, разности которых в каждом сечении равны конструктивной ширине колеи. А в работе [151] подробно описан алгоритм вычисления координат точек рельсовых осей и рихтовочных данных на основе параметрического способа уравнивания.

Заметим, что метод наименьших квадратов для определения плановых элементов рихтовки целесообразно применять при незначительных деформациях подкрановых путей. Однако некачественный монтаж колонн, осадки фундамента и другие факторы могут явиться следствием деформации каркаса промышленного здания. В результате этого не только рельсы, но и подкрановые балки могут значительно отклоняться от проектного положения, что делает невозможным рихтовку рельсов в пределах довольно узкого интервала на подкрановой балке (по разным источникам 30-60 мм). В этом случае задача рихтовки кранового пути может решаться двумя путями.

Первый путь предусматривает совместную рихтовку подкрановых балок и рельсов. Вторым путем заключается в применении криволинейных оформляющих линий, не оказывающих влияния на работу крана. В обоих случаях проект рихтовки разрабатывается с применением различных методов математического программирования (простого, линейного, Чебышевских приближений, минимизации суммы модулей линейных функций и др.).

Совместная рихтовка подкрановых балок и рельсов рассматривается, например, в работе [8]. Здесь в качестве ограничений выбраны величины, обеспечивающие, во-первых, положение рельса в заданном интервале подкрановой балки; во-вторых, необходимый зазор между тележкой крана и передней гранью колонн; в-третьих, максимальную площадь опирания балки на консоль колонны.

В работе [10] используется методика оптимизации рихтовки крановых путей, которая позволяет учесть их конструктивные особенности путём математического выражения ограничений на величину перемещения рельса. По этой методике определяют оптимальные редукции  $V_Y$  и  $V_H$  (рис. 101, а) ездовых балок подвесных кранов.

На практике приведение рельсов к состоянию, когда они представляют собой параллельные, абсолютно прямые линии, не обосновано ни экономически, ни технически. Поэтому, при составлении проекта рихтовки руководствуются, в основном, двумя основными требованиями: соблюдение допусков на отклонения геометрических параметров подкрановых путей от нормы и минимальными расходами на рихтовку.

Именно эти требования положены в основу алгоритма программы «CRANE» для аналитического составления проекта рихтовки [39]. Исходными данными для программы являются: нормативные допуски и некоторые вспомогательные величины; число типов подкрановых балок на крановом

пути; ширина подкранового рельса; габариты крана; номера осей смены типа балки (если есть); расстояние между осями; ширина подкрановых балок; массивы: расстояний между осями рельсов, отклонений рельсов от прямой линии, расстояний от края рельса до края балки и от граней колонн до головки рельса.

Программа предназначена для обработки результатов съёмки двух-рельсовых подкрановых путей любых типов кранов. Результатом является проект плановой рихтовки подкранового пути со всеми необходимыми данными для составления графической документации.

Особое значение имеют криволинейные оформляющие при определении рихтовочных данных в цехах с длинными подкрановыми путями, когда из-за влияния перечисленных выше факторов не представляется возможным запроектировать прямолинейную оформляющую. Авторы работы [12] для математического описания криволинейной оформляющей (рис. 115) используют многочлен вида:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m, \quad (115)$$

где  $a_i$  – коэффициенты многочлена ( $i = 0, 1, 2, \dots, m$ );  $m$  – степень многочлена;  $x$  – удаление текущей точки пути от начала координат.

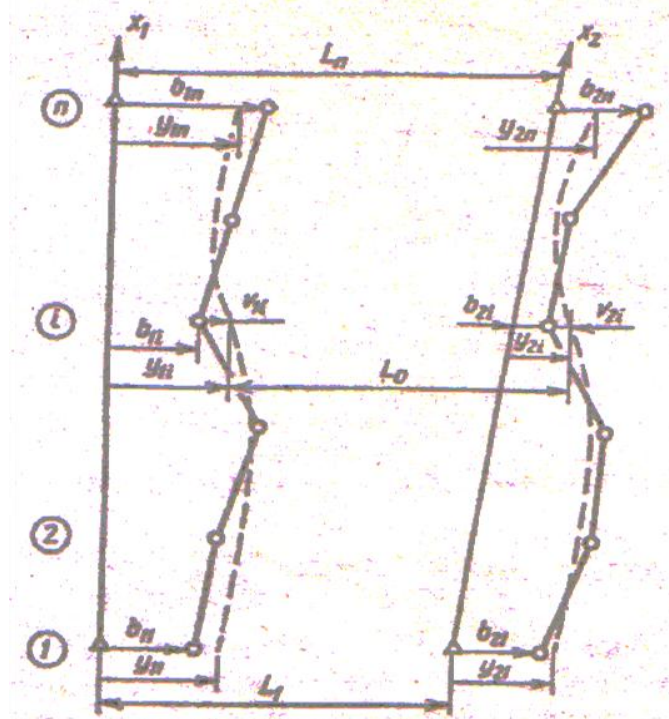


Рис. 115. Проектирование криволинейных направляющих

Оптимальное определение коэффициентов многочлена производится по методу наименьших квадратов на основе уравнения поправок (редукций):

$$y_{1i} - b_{1i} = \vartheta_{1i}, \quad y_{2i} - b_{2i} = \vartheta_{2i}, \quad (116)$$

где  $b_{1i}, b_{2i}$  – измеренные от створов  $X_1$  и  $X_2$  отклонения осей рельсов;  $y_{1i}, y_{2i}$  – ординаты точек оформляющих кривых;  $\vartheta_{1i}, \vartheta_{2i}$  – соответствующие редукции.

При рихтовке должны быть соблюдены условия:

$$y_{2i} = y_{1i} + L_0 - L_i, \quad L_i = \alpha_i L_1 + \beta_i L_n, \quad \alpha_i = 1 - \beta_i, \quad \beta_i = \frac{X_i}{X_n}. \quad (117)$$

поэтому выражения (116) с учётом (117) могут быть представлены в рабочем виде следующим образом:

$$a_0 + x_i a_1 + x_i^2 a_2 + \dots + x_i^m a_m - b_{1i} = \vartheta_{1i},$$

$$a_0 + x_i a_1 + x_i^2 a_2 + \dots + x_i^m a_m - b'_{2i} = \vartheta_{2i}, \quad (118)$$

$$b'_{2i} = b_{2i} - L_0 + (\alpha_i L_1 + \beta_i L_n),$$

где  $b'_{2i}$  – отклонение точки второго рельса, исправленное за условие непараллельности съёмочных створов и обеспечивающее эквидистантность (равноудалённость) второй оформляющей кривой относительно первой.

На основе выражений (118) составляется и решается система нормальных уравнений, в результате чего определяют значения коэффициентов  $a_i$ . Далее по уравнениям (118) находят редукции  $\vartheta_{1i}$  и  $\vartheta_{2i}$  для левого и правого рельсов. Контролем правильности решения задачи является выполнение условия:

$$\sum(\vartheta_{1i} + \vartheta_{2i}) = 0. \quad (119)$$

Практической реализацией описанной методики является разработанная в своё время для ЭВМ программа «Обработка материалов плановой съёмки рельсов подкрановых путей» для максимального числа промерных точек по оси рельсов, равного 100 и степени многочлена от 1 до 10.

Другое решение задачи по расчёту проектных прямых или кривых оформляющих линий для рихтовки подкрановых путей предлагается в работе [33]. Для этого (рис. 116) в начале и конце пути находят по две точки, отстоящие от осей рельсов на расстояниях  $\vartheta_1 = 0,5(L_1 - L_0)$ ,  $\vartheta_n = 0,5(L_n - L_0)$  и на расстоянии  $L_0$  одна от другой. Две параллельные прямые, проходящие через эти точки, принимают за проектные линии. Затем вычисляют уклоны  $\vartheta_i^I$  и  $\vartheta_i^{II}$  осей 1-го и 2-го рельсов от проектных искомым линий:

$$\vartheta_i = R_i \left[ \vartheta_1 + (\vartheta_n - \vartheta_1) \frac{i-1}{n-1} \right], \quad (120)$$

где  $R_i^I$  и  $R_i^{II}$  – уравненные уклоны осей 1-го и 2-го рельсов от замыкающих прямых линий.

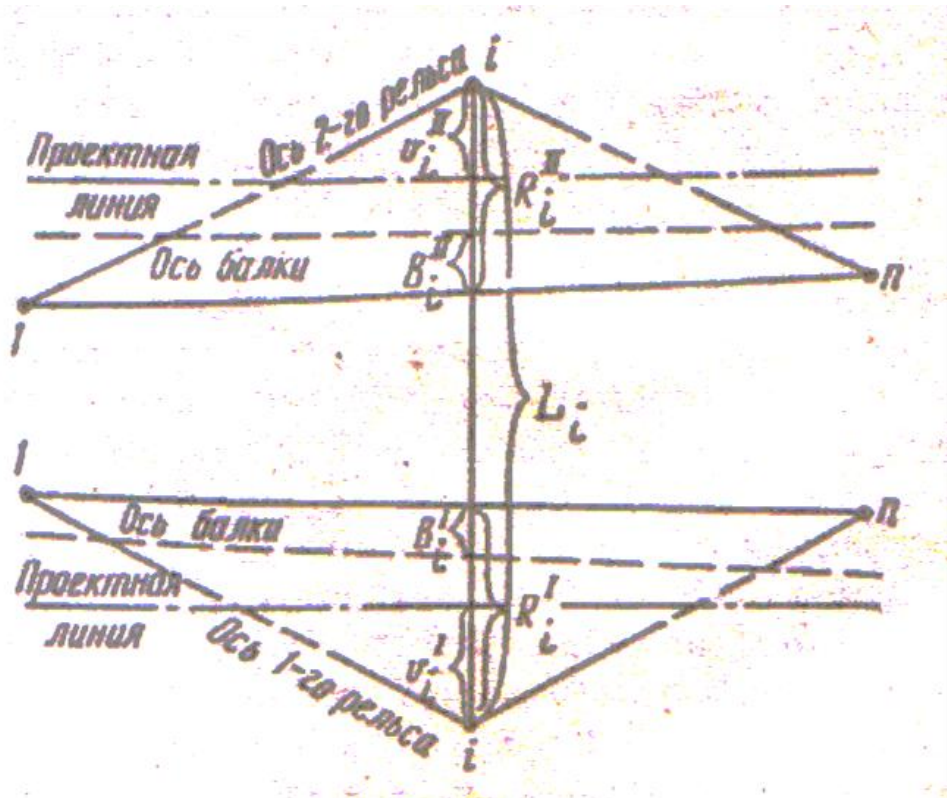


Рис. 116. Расположение рельса и подкрановой балки

При пользовании формулой (120) следует учитывать, что отклонения оси рельса или балки от проектной линии наружу пролёта имеют знак плюс, внутрь – минус. Рихтовка положительная, если рельс или балку надо двигать наружу пролёта, и отрицательная – внутрь.

Если новое значение эксцентриситета рельса (отклонение оси балки от проектной линии) превышает допуск  $\delta t$  на эксцентриситет, то вычисляют рихтовки подкрановых балок.

В том случае, когда подвижка подкрановых балок затруднена или невозможна, следует в качестве проектных выбирать такие ломанные линии, при которых будет обеспечено соблюдение соответствующих технологических допусков. Для этого вначале необходимо вычислить вспомогательную величину:

$$y_i = \Delta L_i - (t_i^I + t_i^{II}), \quad (121)$$

где  $\Delta L_i = L_1 - L_0$ ;  $t_i^I$  и  $t_i^{II}$  – эксцентриситеты рельсов относительно оси балки ( $t_i = R_i - B_i$ ).

При  $|y_i| \leq 2\delta t + \delta l$  (где  $\delta l$  – допуск на уклонение ширины колеи от проектного значения) соблюдение технологических допусков возможно без рихтовки подкрановой балки. В этом случае, если эксцентриситет, например, 1-го рельса больше допуска  $\delta t$ , то уклонение будет равно:

$$\vartheta_i^I = t_i^I \mp \delta t, \quad (122)$$



причём, здесь и далее знаки «минус-плюс» означают, что нужно брать знак, противоположный знаку предыдущего слагаемого.

Уклонение 2-го рельса будет равно:

$$\vartheta_i^{II} = 0, \text{ если } |\Delta L_i - \vartheta_i^I| \leq \delta l, \quad (123)$$

$$\vartheta_i^{II} = (\Delta L_i - \vartheta_i^I) \mp \delta l, \text{ если } |\Delta L_i - \vartheta_i^I| > \delta l.$$

Если допуск на эксцентриситет у 2-го рельса превышен, то в формулах (122) и (123) необходимо заменить индекс  $I$  на индекс  $II$ , и наоборот. Если эксцентриситеты обоих рельсов превышают допуск  $\delta t$ , то уклонения  $\vartheta_i^I$  и  $\vartheta_i^{II}$  для обоих рельсов следует вычислять по формуле (122).

В случае выполнения допуска  $\delta t$  у обоих рельсов, их уклонения вычисляются в зависимости от величины  $\Delta L_i$ , а именно:

$$\vartheta_i^I = \vartheta_i^{II} = 0, \text{ если } |\Delta L| \leq \delta l. \quad (124)$$

При  $|\Delta L_i| > \delta l$  возможны два варианта:

1. Если  $t_i^I$  и  $t_i^{II} \geq 0$ , то :

$$\vartheta_i^I = \vartheta_i^{II} = 0,5(\Delta L_i \mp \delta l). \quad (125)$$

2. Если  $t_i^I$  и  $t_i^{II} < 0$ , то при  $\Delta L_i$  и  $t_i^I > 0$ :

$$\vartheta_i^I = \vartheta_i^{II} = 0,5(\Delta L_i \mp \delta l), \vartheta_i^{II} = \vartheta_i^I - t_i^I. \quad (126)$$

В случае  $\Delta L_i$  и  $t_i^I > 0$  вычисление  $\vartheta_i^I$  и  $\vartheta_i^{II}$  производится по формулам (114) с перестановкой индексов  $I$  и  $II$ .

Если  $|y_i| > (2\delta t + \delta l)$ , то:

$$\vartheta_i^I = 0,5(\Delta L_i \mp \delta l + t_i^I - t_i^{II}), \quad \vartheta_i^{II} = 0,5(\Delta L_i \mp \delta l - t_i^I + t_i^{II}). \quad (127)$$

С учётом вычисленных уклонений  $\vartheta_i^I$  и  $\vartheta_i^{II}$  проверяется обеспечение допусков  $\delta r$  на непрямолинейность рельсов на 40-метровых и меньших интервалах. Так, если частная нестворность  $r$  относительно прямой линии, соединяющей конечные точки интервала, превышает допуск  $\delta r$ , то вычисляют поправку  $dr = r \mp \delta r$  отдельно для каждого рельса. Затем обе поправки усредняются и среднее значение вводится в уклонения  $\vartheta_i^I$  и  $\vartheta_i^{II}$  и в нестворности точек рельсов относительно общих замыкающих. Вычисление поправок  $dr$  и исправление уклонений повторяется циклами с последовательным сдвигом на длину одного шага съёмки от начала пути к концу.

Проверка габаритного допуска  $d_0$  на расстояние между осью рельса и колонной заключается в проверке условия  $(d_i + \vartheta_i) \geq d_0$  для обоих рельсов. В случае его нарушения необходимо произвести пересчёт значений  $\vartheta_i$ . Для

обработки плановой съёмки подкрановых путей на ЭВМ был составлен алгоритм соответствующей программы.

Не умаляя теоретической значимости рассмотренных работ, следует, однако, сказать, что способы нахождения проектных оформляющих линий, основанные на решении целевых функций разного вида, довольно сложны. Поэтому применение методов математического программирования для подготовки рихтовочных данных отдельными исполнителями затруднены. Вследствие этого целый ряд авторов [48, 150, 167] отдадут должное графическому способу подготовки.

Для этого достаточно на плане нанести в крупном масштабе, например, 1:1, отклонения подкрановых рельсов от прямой линии и провести прямолинейные или криволинейные оформляющие, получая сразу необходимые данные для рихтовки. Примером может служить рис. 3, на котором показано одновременное решение двух задач: контроль планового положения подкрановых рельсов и получение одного из вариантов их рихтовки. При этом с успехом могут использоваться как обычные чертёжные приспособления, так и средства компьютерной графики.

Задача вертикальной съёмки подкранового пути заключается в получении отметок головок рельсов, верха подкрановой балки, консолей колонн и измерении существующих подкладок под рельсами и балками с последующим вычислением рихтовки рельсов и балок по высоте для приведения их в положение, соответствующее техническим условиям эксплуатации.

Обычно за проектные линии для рихтовки рельсов по высоте принимают две параллельные прямые, лежащие в горизонтальной плоскости на отметке  $H_{max}$ , равной наибольшей отметки головки рельса подкранового пути. В этом случае разность проектной  $H_{max}$  и фактической  $H_i$  отметки головки рельса  $\Delta H_i = H_{max} - H_i$  может быть компенсирована либо подкладкой под рельс  $R_i = \Delta H_i$ , либо подкладкой под балку  $B_i = \Delta H_i$  или их суммой  $R_i + B_i = \Delta H_i$ .

В нормативной литературе об эксплуатации подкрановых путей нет требований о приведении рельсов строго в теоретическое положение. На этом основании в работе [34] предлагается другой способ расчёта рихтовочных элементов, основанный на методике использования не прямых проектных линий с соблюдением трёх допусков:  $\delta H$  – на разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении;  $\delta h$  – на разность отметок головок рельсов на соседних колоннах;  $R_{доп}$  – на толщину подкладки под рельс. Сущность способа заключается в следующем.

1. Вычисляют «чистые» отметки головок рельсов  $H'_i = H_i - r_i - b_i$ , где  $r_i - b_i$  – существующие подкладки соответственно под рельсами и балками.

2. Из этих отметок на опорах находят наибольшую отметку и фиксируют номера рельса и съёмочной точки  $K$ .

3. Идя по рельсу в обе стороны от точки  $K$ , вычисляют уклонения «чистых» отметок от проектной отметки в соответствии с допуском  $\delta h$ , а именно:  $V_i = |H'_{i\pm 1} - H'_i| - \delta h$  и находят новые отметки головки рельса  $H''_i = H_i + V_i$ .

4. В соответствии с допуском  $\delta H$  вычисляют проектную отметку головки другого рельса на точке, противолежащей точке  $K$ .

5. Идя от этой точки в обе стороны, вычисляют уклонения «чистых» отметок от проектной отметки с соблюдением допуска и проектные отметки головки другого рельса ( см. п. 3).

Если при выполнении пунктов 3 и 5 на какой-либо точке соблюдается условие  $|H'_{i\pm 1} - H'_i| \leq \delta h$ , то проектная отметка на этой точке равна её «чистой» отметке.

6. В каждом поперечном сечении проверяют допуск  $\delta H$  и в случае его нарушения вычисляют вторичную рихтовку для более низкой точки и её новую проектную отметку.

Таким образом пункты 3, 5 и 6 составляют один цикл. При необходимости выполняют второй цикл и так до тех пор, пока на всём протяжении подкранового пути не будут соблюдены допуски  $\delta H$  и  $\delta h$ .

Искомые рихтовки рельсов по высоте будут равны разностям отметок, полученных в последнем цикле, и исходных отметок, то есть  $R_i = H''_i - H_i$ . Здесь знак плюс означает, что в данной точке нужно подложить подкладку под рельс и балку толщиной  $R_i$ . Знак минус – убрать часть существующих или все подкладки.

Если  $R_i > (R_{\text{доп}} - r_i)$ , то проектируемая подкладка под рельс будет равна  $R_{\text{доп}} - r_i$ , а остальная часть  $R_i$  компенсируется проектируемой подкладкой под балку  $B_i = R_i - (R_{\text{доп}} - r_i) - b_i$ .

Рассмотренная методика отличается гибкостью, поскольку позволяет включать в неё различные дополнительные ограничения типа: отрицательные рихтовки рельсов или балок запрещены; рихтовки балок или рельсов любого знака запрещены и т.п. В этих случаях достаточно при вычислении «чистых» отметок (см. п. 1) исключить  $r_i$  или  $b_i$  и вычисленную рихтовку  $R_i$  компенсировать подкладкой в разрешенном месте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геодезический контроль эксплуатируемых надземных подкрановых путей и ходовой части мостовых кранов производится в условиях, отличающихся повышенной степенью опасности. Работы приходится выполнять на значительной высоте вблизи от токопроводящих частей кранового 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.

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, отличительной особенностью которого является наличие двух разветвлений 5 и 6 (рис.117).

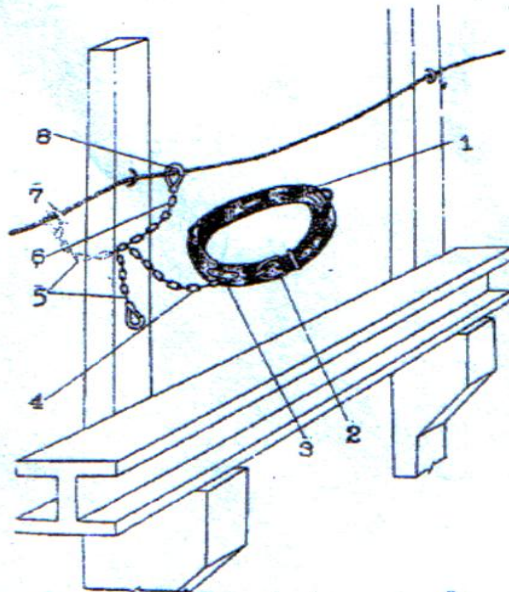


Рис. 117. Предохранительный пояс: 1 – ремень, 2 – пряжка, 3 – кольцо, 4 – цепь, 5, 6 – разветвления, 7, 8 – карабины

На рабочем месте персонал должен прикрепляться поясом к надёжным конструкциям, а при перемещении по путям – к стальной 5-миллиметровой проволоке, натянутой между колоннами. Для защиты головы необходимо пользоваться защитными касками.

При переносе инструмента, приборов, приспособлений и во время пользования ими необходимо принимать меры, исключающие падение их вниз.

Следует помнить, что на уровне подкрановых путей может быть большая температура и загазованность. Поэтому к работе допускаются только абсолютно здоровые люди, не страдающие акрофобией (высотобоязнью).

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 выключается

и даётся разрешение на выход на подкрановый путь. При этом необходимо строго следовать установленным звуковым, световым и другим сигналам, показывающим, что токопроводящие части кранового оборудования находятся под напряжением или нет.

В свою очередь связь между исполнителями удобно осуществлять с помощью портативных переговорных устройств. Нами для этих целей использовались радиостанции *VOXTEL MR 200* (рис. 118), питание каждой обеспечивали 4 алкалиновых батареи ААА.



Рис. 118. Комплект радиостанций *VOXTEL MR 200*

Таким образом, во-первых, при организации работ по геодезическому контролю ходовой части и путей мостовых кранов, прежде всего необходимо (при выборе методики съёмки) руководствоваться требованиями обеспечения безопасности геодезических измерений. Во-вторых, эти требования должны учитываться при разработке новых методик, приборов и систем, обеспечивающих высокие технологии таких измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. №254122 СССР, кл.42б, 22/04. Прибор для измерения расстояния между осями рельсов /Авт. изобрет. Репалов И.М. Заявл. 17.02.68 №1218680; опубл. 1969, Бюл. № 31.
2. А. с. №1244400 СССР, МКИ G 01 С 15/06. Устройство для геодезической проверки подкрановых путей мостовых кранов /Авт. изобрет. Якимов Ю.А. Заявл. 31.10.83 №3688332/24; опубл. 1986, Бюл. № 26.
3. А. с. №1482844 А1 СССР, МКИ<sup>4</sup> В 61 К 9/08, Е 01 В 35/10. Устройство для контроля прямолинейности направляющих рельсов /Авт. изобрет. Пышкин В.Н., Юрлов В.И., Пузырёв В.В., Пуртов А.В. Заявл. 27.03.87 №4216081/29-11; опубл. 30.05.89, Бюл. № 20.
4. А. с. №1661576 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01 15/00. Способ определения положения оси рельса /Авт. изобрет. Валуконис Г.Ю., Карлова В.В. Заявл. 10.12.86 №4159099/10; опубл. 07.07.91, Бюл. № 25.
5. А. с. №1830449 СССР, МКИ<sup>5</sup> G 01 С 15/00. Центрирующий штатив для установки геодезического прибора на головке рельса /Авт. изобрет. Русков А.М. Заявл. 11.02.91 №4909483/10; опубл. 30.07.93, Бюл. № 28.
6. Анцибор, В.Я. Лазерные приборы для маркшейдерских работ В.Я Анцибор // М. – Недра. – 1985. – 188 с.
7. Асташенков, Г.Г. Геодезический контроль подвесных подкрановых путей / Г.Г. Асташенков // Изв. вузов. Строительство. – 1999. – № 9. – С. 117–119.
8. Баран, П.И. Совместное определение оптимальных элементов рихтовки подкрановых балок и рельсов методами математического программирования / П.И. Баран, В.П. Шелест // Инж. геод. – 1976. – № 19. – С. 3–10.
9. Баран, П.И. К разбивке протяжённого створа способом биполярной засечки / П.И. Баран // Инж. геод. – 1979. – Вып.22. – С. 80–82.
10. Баран, П.И. Геодезическая выверка балок подвесного многопролётного крана / П.И. Баран // Инж. геод. – 1985. – № 28. – С. 3–6.
11. Баран, П.И. Короткобазисный способ определения створа / П.И. Баран, И.Н. Колесник Геод. и картогр. – 1985. – №11. – С. 30–31.
12. Баран, П.И. Определение элементов плановой рихтовки крановых путей / П.И. Баран, И.А. Дульский, Д.Н. Кавунец // Геод. и картогр. –1991. –№ 5. – С.16–19.
13. Богдан, И.Ю. К исследованию устойчивости некоторых параметров путей мостовых кранов / И.Ю. Богдан, П.С. Корба, Д.Н. Кавунец // Инж. геод. – 1990. – № 33. – С. 13–16.
14. Болгов, И.Ф. Устройство для определения горизонтальных смещений точек сооружений / И.Ф. Болгов, Л.В. Шаршавицкий // Геод методы контроля качества в стр-ве. – Куйбышев. – 1984. – С. 110–114.
15. Боровских, В.С. Определение угла  $i$  лазерного визира при наблюдениях за прямолинейностью подкрановых путей / В.С. Боровских, В.И. Стебнев // Геод. методы контроля в стр-ве. – Куйбышев. – 1985. – С. 22–24.
16. Бронштейн, Г.С. Исполнительная съёмка и выверка подкрановых путей прибором ПРП / Г.С. Бронштейн, Ю.В. Визиров // Промышленное стр-во. – 1967. – № 7. – С. 47–48.
17. Васютинский, И.Ю. Геодезические приборы при строительномонтажных работах /И.Ю. Васютинский, Г.Е. Рязанцев, Х.К. Ямбаев // М. – Недра. – 1982. – 272 с.

18. Войтенко, С.П. Определение геометрических параметров подкрановых путей в условиях непрерывно действующих цехов / С.П. Войтенко и др. // Инж. геод. – 1980. – № 23. – С. 85–89.
19. Вшивков, В.Ф. Измерение смещений от линии визирования посредством специальной насадки / В.Ф. Вшивков, Громыко Н.А. // Геод. и фотограмметрия. – Ростов на Дону. – 1980. – 109–112.
20. Ганьшин, В.Н. Зависимость точности измерений от функциональных допусков / В.Н. Ганьшин // Геод. и картогр. – 1980. – № 4. – С. 36–37.
21. Ганьшин, В.Н. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей / В.Н. Ганьшин, И.М. Репалов // М. – Недра. – 1980. – 120 с.
22. Голендухин, М.А. Определение перекосов ходовых колёс кранов струнно-оптическим способом / М.А. Голендухин, С.И. Шестаков // Промышленное стр-во. – 1972. – № 5.
23. Голендухин, М.А. О точности геодезических работ при исследовании перекосов колёс мостовых кранов с помощью параллельных створов / М.А. Голендухин // Труды НИИГАиК. – Новосибирск. – 1975. – Т. 34. – С. 111 – 117.
24. Горохов, Е.В. Методы и средства измерений при строительстве и эксплуатации подкрановых путей: монография / Е.В. Горохов, Н.Е. Ламбин, В.Н. Ламбин // Донбасс. гос. акад. строит. и архит. – Макеевка. Графити. – 1997. – 234 с.
25. Григоренко, А.Г. Технический контроль при эксплуатации подкрановых сооружений / А.Г. Григоренко, И.А. Сисин, В.М. Сердюков // М. Металлургия. – 1977. – 272 с.
26. Грузин, Н.Е. Косвенный способ определения расстояния между осями подкрановых рельсов / Н.Е. Грузин // Промышленное стр-во. – 1968. – № 7. – С. 37–38.
27. Грузин, Н.Е. Выверка подкрановых путей с помощью лазера и телевизионной установки / Н.Е. Грузин // Промышленное стр-во. – 1972. – № 4. – С. 44–45.
28. Грузин, Н.Е. Влияние внешних условий на результаты съёмки подкрановых путей в закрытом помещении / Н.Е. Грузин, А.У. Федорищев, В.К. Мисковец, В.Ц. Карпинский // Геод., картография и аэрофотосъёмка. – 1974. – Вып. 19. – С. 7–12.
29. Грузин, Н.Е. О точности отсчёта по рейке в условиях закрытого помещения / Н.Е. Грузин, А.У. Федорищев // Геод., картография и аэрофотосъёмка. – 1976. – Вып. 23 – С. 26–28.
30. Грузин, Н.Е. О необходимой точности измерения деформаций строительных конструкций / Н.Е. Грузин // Инж. геод. – 1981. – № 24. – С. 42–44.
31. Дарвиш, И. Технология наблюдения за подкрановыми путями с применением гиротеодолита / И. Дарвиш // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1990. – № 2. – С. 50–57.
32. Дементьев, В. Е. Применение лазера в инженерной геодезии / В.Е. Дементьев // Геод. и картогр. – 1969. – № 2. – С. 28–32.
33. Дьяков, Б.Н. О расчёте проектных линий для рихтовки подкрановых путей / Б.Н. Дьяков // Геод. и картогр. – 1990. – № 11. – С. 9–11.
34. Дьяков, Б.Н. Обработка высотной съёмки подкранового пути / Б.Н. Дьяков // Геод. и картогр. – 1991. – № 9. – С. 29–30.
35. Дьяков, Б.Н. Автоматизированная технология контроля геометрических параметров подкрановых путей / Б.Н. Дьяков, В.Б. Жарников, Ю.Н. Нагорный // Состояние и перспективы инж.-геод. и инж.-фотограмметр. работ: Матер. Всес. на-

уч.-техн. конф., посвящ. 20-летию деятельности НИИПГ. Новосибирск, 28-30 нояб. 1990. – М. – 1990. – С. 80–83.

36. Жарников, В.Б. Анализ некоторых технологий высотной выверки подкрановых путей методом геометрического нивелирования / В.Б. Жарников, Ю.Н. Нагорный // Межвуз. сб. Новосиб. ин-т инж. геод., аэрофотосъёмки и картогр. – 1985. – 27/67. – С. 8–15.

37. Жарников, В.Б. Расчёт точности автоматизированной установки для геодезического контроля подкрановых путей / В.Б. Жарников, Ю.Н. Нагорный // Межвуз. сб. Новосиб. ин-т инж. геод., аэрофотосъёмки и картогр. – 1988. – № 37. – С. 73–81.

38. Жуков, Н.Б. Нормирование точности геодезических измерений при возведении сооружений, монтаже оборудования и контроле за их состоянием / Н.Б. Жуков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1983. – №4. – С. 28–35.

39. Жуков, Н.Б. Обработка результатов съёмки подкрановых путей на ЭВМ / Н.Б. Жуков // Геод. и картогр. – 1988. – № 5. – С. 57–59.

40. Заболотный, А.Л. Определение непрямолинейности подкрановых путей методом бокового нивелирования / А.Л. Заболотный // Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж. – 1996. – 5 с.: Деп. в ВИНТИ 26.04.96, №1373-В96.

41. Зеленский, А.М. О нивелировании ряда равноудалённых створных точек / А.М. Зеленский // Геод. и картогр. – 1985. – № 4. – С. 23–25.

42. Золотцева, Л.Н. Геодезическое обеспечение эксплуатации подкрановых путей грузоподъёмных кранов / Л.Н. Золотцева, Т.И. Хаметов // Пенз. гос. ун-т архит. и стр-ва. – Пенза. – 2004. – 47 с. Библи. 9. Деп. в ВИНТИ 12.03.2004. – № 432-В2004.

43. Измайлов, Р.Б. К вопросу автоматизации измерений при выверке подкрановых путей / Р.Б. Измайлов // Ред. ж. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – М. – 1982. – 11 с. Рукопись деп. в ВИНТИ 12 нояб. 1982 г. – № 5583-82 Деп.

44. Кавунец, Д.Н. О методике и точности определения геометрических параметров подкрановых путей / Д.Н. Кавунец, Г.М. Литвин, С.И. Кацавец // Инж. геод. – 1978. – Вып.24. – С. 91–96.

45. Кавунец, Д.Н. Определение геометрических параметров подкрановых путей / Д.Н. Кавунец и др. // Геод. и картогр. – 1979. – № 12. – С. 25–27.

46. Кавунец, Д.Н. Определение геометрических параметров подкрановых путей с помощью лазерных визиров / Д.Н. Кавунец и др. // Инж. геод. – 1979. – Вып.22. – С. 90–93.

47. Кавунец, Д.Н. Исследование точности методов геодезического контроля подкрановых путей / Д.Н. Кавунец, Ю.К. Лященко // Инж. геод. – 1980. – Вып.23. – С. 75–78.

48. Кавунец, Д.Н. К вопросу определения рихтовочных данных крановых путей / Д.Н. Кавунец, В.С. Корпас // Инж. геод. – 1982. – Вып.25. – С. 20–23.

49. Кавунец, Д.Н. Устройство для определения расстояний между осями крановых рельсов / Д.Н.Кавунец, Н.А. Володин // Инж. геод. – 1986. – №29. – С. 36–39.

50. Кавунец, Д.Н. Устройство для определения геометрических параметров крановых путей / Д.Н. Кавунец // Инж. геод. – 1987. – Вып. 30. – С. 29–32.

51. Каменев, А.В. Об исключении влияния угла  $i$  при нивелировании осадочных марок / А.В. Каменев // Геод. и картогр. – 1977. – № 6. – С. 28–34.

52. Каменев, А.В. Точность створного метода геометрического нивелирования / А.В. Каменев // Геод. и картогр. – 1986. – № 12. – С. 14–16.



53. Кочетов, Ф.Г. Способ контроля прямолинейности подкрановых рельсов /Ф.Г. Кочетов, Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1985. Нижегородский ЦНТИ. – № 622–85.
54. Кочетов, Ф.Г. Приспособление для проверки прямолинейности подкрановых рельсов /Ф.Г. Кочетов, Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1985. Нижегородский ЦНТИ. – № 85–7.
55. Кочетов, Ф.Г. Приспособление для измерения ширины колеи подкрановых рельсов /Ф.Г. Кочетов, Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1986. Нижегородский ЦНТИ. – № 86–61.
56. Кравец, Я.С. Об одном способе геометрического нивелирования / Я.С. Кравец // Геод. и картогр. –1988. – № 5. – С. 59–60.
57. Кузьмин, В.И. Определение и учёт перекоса моста подъёмного крана при геодезическом контроле углов перекоса его ходовых колёс / В.И. Кузьмин, Т.А. Наливайко // Геод., картография и аэрофотосъёмка. – 1990. – № 51. – С. 57–61.
58. Кузьмин, В.И. Геодезический контроль углов перекоса ходовых колёс мостовых подъёмных кранов / В.И. Кузьмин, Т.А. Наливайко // Инж. геод. – 1990. – С. 52–55.
59. Кузьмин, В.И. Универсальное лазерно - зеркальное устройство / В.И. Кузьмин, Т.А. Наливайко // Пром. стр-во и инж. сооруж. – 1991. – № 4. – С. 36–37.
60. Кушнарев, А.Д. Геодезическая съёмка подкрановых путей ТЭС и ГЭС / А.Д. Кушнарев // Геодезистъ. – 2002. – №2. – С.19–20.
61. Ламбин, Н.Е. Фотонивелир и расчёт его оптической системы / Н.Е. Ламбин // Пром. стр-во и инж. сооруж. – Киев. – 1977. – № 3. – С. 9.
62. Ламбин, Н.Е. Съёмка подкрановых путей с использованием полуавтоматического устройства / Н.Е. Ламбин // Инж. геод. – 1978, – №21. – С. 21–25.
63. Ламбин, Н.Е. Экраны для съёмки подкрановых путей / Н.Е. Ламбин // Геод. и картогр. –1981. – № 5. – С. 20–22.
64. Ламбин, Н.Е. Приборы для определения плано-высотного положения подкрановой балки / Н.Е. Ламбин // Геод. и картогр. –1982. – № 10. – С. 33–35.
65. Ламбин, Н.Е. Устройство для определения угла разворота крана мостового типа / Н.Е. Ламбин, В.Н. Ламбин // Пробл. экол. в геод. и картогр. –М. –1992. – С. 78–80.
66. Леонович, А.В. Определение перекосов ходовых колёс мостовых кранов / А.В. Леонович, Г.М. Литвин // Инж. геод. – 1975, – №18. – С. 110–113.
67. Литвин, Г.М. Способ определения перекоса колёс мостовых кранов / Г.М. Литвин // Инж. геод. – 1990, – №33. – С. 57–60.
68. Литвин, Г.М. Применение засечек для определения геометрических параметров мостовых кранов / Г.М. Литвин // Инж. геод. – 1991, – №34. – С. 63–67.
69. Лященко, Ю.К. Исследование точности последовательных фотограмметрических створов / Ю.К. Лященко // Инж. геод. – 1984, – №27. – С. 65–68.
70. Методические указания по наблюдению за осадками фундаментов, деформациями конструкций зданий и сооружений и режимом грунтовых вод на тепловых и атомных электростанциях. СПО Союзтехэнерго. – М. –1985. – 73 с.
71. Миловатский, В.В. Усовершенствование способа бокового нивелирования при створных определениях / В.В.Миловатский, М.Н. Ткаченко // Геод. и фотограмметрия в горн. деле. – Свердловск. – 1988. – С. 75-76.

72. Михелев, Д.Ш. Формулы для учёта боковой рефракции при выполнении геодезических работ в закрытых помещениях / Д.Ш. Михелев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1967. – Вып. 3.

73. Назаров, А.М. Проверка состояния подкрановых путей методом гидростатического нивелирования / А.М. Назаров и др. // Сб. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование. Вып. 1/12. – М. – 1976. – С. 131 – 133.

74. Наливайко, Т.А. Прибор с лазерным лучом для съёмки подкрановых путей мостовых кранов / Т.А. Наливайко // Инж. геод. – 1988. – №31. – С. 57–60.

75. Нестеренок, М.С. Определение искривлений подкрановых рельсов / М.С. Нестеренок, В.Ф. Нестеренок // Геод. и картогр. – 1988. – № 4. – С. 29–31.

76. Новиков, Ю.П. Об определении угла  $i$  в процессе исследования нивелира / Ю.П. Новиков // Геод. работы в стр.-ве. – Куйбышев. – 1988. – С. 80–87.

77. Островский, А.Л. Лазерное устройство для контроля прямолинейности установки оборудования / А.Л. Островский, С.Г. Хропот, Т.Г. Шевченко // Геод., картография и аэрофотосъёмка. – 1988. – № 48. – С. 63–66.

78. Павлов, И.М. Опыт использования газового лазера для автоматической выверки подкрановых путей / И.М. Павлов, В.Ф. Черников // Геод. и картогр. – 1972. – № 10. – С. 30–34.

79. Патент № 74492 ПНР, кл 42 с 1/01. Геодезический штатив для подкрановых путей. Авт. изобрет. Л. Czajkoskowski. Заявл. 29.12.71. № 152541; опубл. 15.01.75.

80. Патент № 124942 ПНР, МКИ G 01 C 15/00, G 01 B 5/25. Способ и устройство для проверки прямолинейности протяжённых объектов, например, подкрановых путей. Авт. изобрет. М. Krzeszowski, J.M. Jerzak. Заявл. 15.05.80. № 224293; опубл. 30.04.84.

81. Патент № 5025567 США, МКИ<sup>5</sup> G 01 C 9/32. Спиртовый уровень с осветителем, использующим волоконную оптику. Авт. изобрет. Мак Вильямс Р.Е., Карг Р.Л. Заявл. 06.06.89. № 364090; опубл. 25.06.91; НКИ 33/348.2.

82. Патент № 5075978 США, МКИ<sup>5</sup> G 01 C 9/32. Уровень с подсветкой. Авт. изобрет. Гров Х.В. Заявл. 04.04.91. № 682843; опубл. 31.12.91; НКИ 33/348.2.

83. Патент № 156986 Польша, МКИ<sup>5</sup> G 01 C 15/00, G 01 B 11/00. Лазерное устройство для измерения геометрической формы рельсовых путей кранов. Авт. изобрет. Шпутко Я., Стипницкий С. Заявл. 07.03.88. № 271070; опубл. 30.04.92.

84. Перепечкин, А.А. Контроль за деформациями подкрановых путей кран-балок / А.А. Перепечкин, Н.А. Лошкарёв // Промышленное стр.-во. – 1988. – № 3. – С. 37.

85. Пимшин, Ю.И. Совершенствование створного способа контроля прямолинейности / Ю.И. Пимшин // Колыма. – 1991. – №8–9. – С.10 –13.

86. Пимшин, Ю.И. О принципах формирования и средствах реализации референтных прямых / Ю.И. Пимшин, Х.К. Ямбаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1994. – № 6. – С. 3-10.

87. Пимшин, Ю.И. Способ геометрического нивелирования / Ю.И.Пимшин, А.Р. Губеладзе // Прикладная геодезия.Ростов. гос. строит. ун-т. – Ростов на Дону. – 2001. – С. 3–4. Деп. в ВИНТИ 12.04.2001, № 954-B2001.

88. Пимшин, Ю.И. Методология оценки технического состояния кранового оборудования по результатам геодезических измерений / Ю.И. Пимшин, А.Р. Губеладзе, И.Ю. Пимшин // Прикладная геодезия.Ростов. гос. строит. ун-т. – Ростов на Дону. – 2002. – С.12–17. Деп. в ВИНТИ 05.12.2002, № 2100-B2002.

89. Пимшин, Ю.И. Контроль прямолинейности и горизонтальности подкрановых путей / Ю.И.Пимшин, А.Р. Губеладзе, И.Ю. Пимшин // Прикладная геодезия. Ростов. гос. строит. ун-т. – Ростов на Дону. – 2002. – С.18-31. Деп. в ВИНТИ 05.12.2002, № 2100-В2002.

90. Потюхляев, В.Г. Исследование влияния мостового крана на планово-высотное положение подкрановых рельсов / В.Г. Потюхляев // Маркшейдерское дело и геод.: Сб. науч. трудов. – Л., изд. ЛГИ., – 1976. Вып. 3. – С. 59–61.

91. Потюхляев, В.Г. Определение перекосов ходовых колёс мостовых кранов с помощью пентапризм / В.Г. Потюхляев // Маркшейдерское дело и геод.: Сб. науч. трудов. – Л., изд. ЛГИ., – 1977. Вып. 4. – С. 64–67.

92. Потюхляев, В.Г. Однобазисный способ плановой съёмки действующих подкрановых путей / В.Г. Потюхляев // Маркшейдерское дело и геод.: Сб. науч. трудов. – Л., изд. ЛГИ., – 1989. – С. 108–113.

93. Потюхляев, В.Г. Исследование влияния траектории движения мостовых кранов на точность геодезического контроля подкрановых путей / В.Г. Потюхляев, Л.Г. Солопов // Маркшейдерское дело и геод.: Сб. науч. трудов. – Л., изд. ЛГИ., – 1987. – С. 79–81.

94. Раскаткин Ю. Н. Контроль пространственного положения путей мостового крана с помощью электронного тахеометра и его клавиши SDh / Ю. Н. Раскаткин // Сб. трудов аспирантов и магистрантов. Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород. – 2013. – С. 217–221.

95. Раскаткин Ю. Н. Определение недоступного расстояния электронным тахеометром с использованием клавиши SDh / Ю. Н. Раскаткин // «Промышленная безопасность–2013». Сб. статей. Н.Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – 2013. – С. 151–155.

96. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. НПО ОБТ. – М. – 1993. – 235 с.

97. РД 10-138-97. Комплексное обследование крановых путей грузоподъемных машин. – М. – 1997. – 38 с.

98. Репалов, И.М. О точности измерений при съёмке подкрановых путей / И.М. Репалов // Маркшейдерское дело и геод.: Сб. науч. трудов. – Л., изд. ЛГИ., – 1989. – С. 14–119

99. Русков, А.М. Подставка под геодезические приборы / А.М. Русков // Геод. и картогр. – 1991. – № 5. – С. 49–51.

100. Русков, А.М. Использование микрокалькуляторов для автоматизации инженерно-геодезических работ / А.М. Русков, И.Ф. Болгов // Геод методы в стр.-ве. – Куйбышев. – 1985. – С. 48–52.

101. Русков, А.М. Устройство для определения величины рихтовки подкрановых путей мостового крана / А.М. Русков, И.Ф. Болгов // Геод методы в стр.-ве. – Куйбышев. – 1986. – С. 73–77.

102. Рухович, И.Р. Автоматизированный способ измерения геометрических параметров мостовых кранов в процессе эксплуатации / И.Р. Рухович, В.Н. Салиев, П.И. Соловей, Ю.Ф. Шиловой // Пробл. внедрения нов. техн. и технол. в топогр.-геод. пр.-ве. Всес. астрон.-геод. о-во при АН СССР. – М. – 1990. – С. 78–80.

103. Середович, В.А. Об использовании гиротеодолитов при створных измерениях / В.А. Середович // Геод. и картогр. – 1982. – №9. – С. – 24-27.

104. Сироткина, Н.М. Из опыта применения лазерного визира ЛВ-5М для определения деформаций подкрановых путей Черепетской ГРЭС-19 / Н.М. Сирот-

кина, К.Л. Егорычев // Методы инженерной геодезии и фотограмметрии в строительстве. Межвузовский сборник. – Ростов-на Дону. – РИСИ. – 1979. – С. 65–72.

105. Соустин, В.М. Геодезическая съёмка подкрановых путей / В.М. Соустин // Лесная промышленность. – 1991. – №11. – С. 27–29.

106. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. Под ред. В.Д. Большакова и Г.Л. Левчука. – М.: Недра. – 1980. – 781 с.

107. Стенин, В.А. Лазерно-киномеханический способ контроля и выверки путей во время эксплуатации производственных зданий и сооружений / В.А. Стенин // Геод. и фотограмметрия в горном деле. Межвуз. н/т сб. – Свердловск. – 1977. – Вып. 4. – С. 58–61.

108. Стенин, В.А. Исследование и применение лазерно-кино-механического устройства при съёмке крановых зданий и сооружений / В.А. Стенин // Геод. и фотограмметрия в горном деле. Межвуз. н/т сб. – Свердловск. – 1981. – Вып. 8. – С. 38–43.

109. Тарапата, В.Я. Опыт применения лазерного визира ЛВ-5М для контроля параметров подкрановых путей / В.Я. Тарапата, Р.Н. Гайнулин, В.А. Скориков, А.В. Шевченко // Геод. и фотограмметрия. – Ростов на Дону. – 1990. – С. 65–70.

110. Тимофеев, А.Н. Прибор для выверки подкрановых путей / А.Н. Тимофеев // Современное состояние и задачи инж.-строит. изысканий. – Кемерово. – 1972. – Т. 1. – С. 101–110.

111. Ткаченко, М.Н. Геодезический контроль планового положения подкрановых путей / М.Н. Ткаченко // Инж. геод. – 1990. – № 33. – С. 96–101.

112. Тропин, В.В. Способ и устройство для контроля вертикальности колонн / В.В. Тропин, Ф.Г. Кочетов, Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1992. Нижегородский ЦНТИ. – № 186–92.

113. Уставич, Г.А. Автоматизация струнно-теневого способа створных измерений / Г.А. Уставич, Ю.Н.Салин, В.А. Облаков // Геод. и картогр. – 1986. – №6. – С. 17–19.

114. Фархан, Диб Восстановление направления непросматриваемого створа / Диб Фархан // Геод. и картогр. – 1991. – № 10. – С. 15–16.

115. Хасенов, Т.К. Опыт геодезической проверки подкрановых путей / Т.К. Хасенов, И.Д. Пустовойтов, Б.К. Бектанов // Джамбул. гидромелиор.-строит. ин-т. – Джамбул. – 1988. – 11 с. Деп. в ВИНТИ 18.03.88, № 2115–В88.

116. Черников, В.Ф. Некоторые приспособления для выверки подкрановых путей геодезическим способом / В.Ф. Черников // Тр. Новосиб. ин-та инженеров геод., аэрофотосъёмки и картографии. – 1963. – Т. 16. – С. 103–111.

117. Черников, В.Ф. Контроль подкрановых путей геодезическими методами / В.Ф. Черников // Тр. Новосиб. ин-та инженеров геод., аэрофотосъёмки и картографии. – 1966. – Т. 19. – С. 153–160.

118. Черников, В.Ф. Определение перекоса ходовых колёс мостового крана / В.Ф. Черников, В.Н. Комиссаров // Промышленное стр-во. – 1970. – № 9. – С. 44–45.

119. Чирятьев, Н.С. Выверка планового положения подкранового пути способом произвольных створов / Н.С. Чирятьев, В.И. Соколов // Геод. и картогр. – 1971. – № 8. – С. 28–33.

120. Чирятьев, Н.С. О точности измерения расстояний между осями подкрановых путей способом произвольных створов / Н.С. Чирятьев и др. // Промышленное стр-во. – 1971. – № 11. – С. 45–47.

121. Шевченко, Т.Г. Применение лазерного указателя направления УНЛЗ-У5 для створных измерений / Т.Г. Шевченко // Геод., картография и аэрофотосъёмка. – 1984. – Вып. 39 – С. 98–101.
122. Шестаков, С.И. Контроль геометрических параметров мостовых кранов во время эксплуатации / С.И. Шестаков // Межвуз. сб. Новосиб. ин-та инженеров геод., аэрофотосъёмки и картографии. – 1984. 22/62. – С. 111–115.
123. Шеховцов, Г.А. Приспособление для подсветки уровней нивелира / Г.А. Шеховцов, Кочетов Ф.Г. // Информ. листок. Н. Новгород. – 1992. Нижегородский ЦНТИ. – № 92–7.
124. Шеховцов Г. А. Оценка точности положения геодезических пунктов: монография / Г. А. Шеховцов – М., «Недра». – 1992. – 255с.
125. Шеховцов, Г.А. Волоконно-оптическое устройство для подсветки уровней нивелира / Г.А. Шеховцов, Кочетов Ф.Г. // Информ. листок. Н. Новгород. – 1994. Нижегородский ЦНТИ. – № 368–94.
126. Шеховцов, Г.А. Новый способ геодезической съёмки недоступных подкрановых рельсов / Г.А. Шеховцов, Кочетов Ф.Г. // Информ. листок. Н. Новгород. – 1994. Нижегородский ЦНТИ. – № 214–94.
127. Шеховцов, Г.А. Трособлочный способ контроля ширины колеи и прямолинейности подкрановых путей / Г.А. Шеховцов, В.М. Новиков // Информ. листок. Н. Новгород. – 1994. Нижегородский ЦНТИ. – № 174–94.
128. Шеховцов, Г.А. Современное состояние и тенденции развития геодезических методов контроля мостов кранов и подкрановых путей / Г.А. Шеховцов // Тезисы докл. н/техн. конф., Ч.2. – Н.Новгород: НГАСА. – 1995. – С. 74.
129. Шеховцов, Г.А. Методика расчёта необходимой точности геодезической съёмки подкрановых путей / Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1995. Нижегородский ЦНТИ. – №335-95.
130. Шеховцов, Г.А. Способ геодезического контроля прямолинейности и ширины колеи подкранового пути / Г.А. Шеховцов // Информ. листок. Н. Новгород. – 1995. Нижегородский ЦНТИ. – №384-95.
131. Шеховцов, Г.А. Устройство для контроля прямолинейности подкрановых рельсов / Г.А. Шеховцов, Кочетов Ф.Г. // Информ. листок. Н. Новгород. – 1995. Нижегородский ЦНТИ. – № 19–95.
132. Шеховцов, Г.А. О геометрической интерпретации результатов геодезической съёмки подкрановых путей / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова, А.Н. Воробьёв // Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика. – Вып. 4. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 1999. – С. 9 –98.
133. Шеховцов, Г. А. Современные методы геодезического контроля ходовой части и путей мостовых кранов: монография / Г. А.Шеховцов // Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т.–Н.Новгород : ННГАСУ.– 1999.– 164 с.
134. Шеховцов, Г.А. Новый лазерно –зеркальный способ исследования пространственного положения строительных конструкций зданий и сооружений / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова // Промышленная безопасность. Сб. статей. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 2006. – С. 57–61.
135. Шеховцов Г. А. Об одновременном дистанционном определении геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Межвузовский. научно-методический сб. – Саратов: СГТУ. – 2007. – С. 202–206.
136. Шеховцов, Г. А. Варианты использования лазерно-зеркального устройства при экспертизе промышленной безопасности производственных объектов

/ Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова, О.В. Раскаткина // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. Материалы международной научно-практической конференции. – Прага 24.03.16. Vydavatel «Osviceni», Нефтекамск. РИО НИЦ «Мир науки», 2016. –Т. 2. – С. 40–52.

137. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография / Г.А.Шеховцов, Р. П. Шеховцова // Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т.– Н.Новгород : ННГАСУ, 2014. – 255 с.

138. Шеховцов, Г. А. О нивелировании с использованием клавиш SDH и ОНР электронного тахеометра при экспертизе промышленной безопасности инженерных сооружений / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова, Д.П. Ивенин // Промышленная безопасность. Сб. статей. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 2014. – С. 46–51.

139. Шеховцов, Г.А фотографическом способе нивелирования строительных конструкций / Г. А. Шеховцов, Р. П.Шеховцова, О. В. Раскаткина, А. М. Анущенко // Приволжский научный журнал. Н.Новгород: ННГАСУ. – 2016. – №3. – С. 24-32

140. Шеховцов, Г. А. Контроль пространственного положения и формы строительных конструкций с помощью неметрических цифровых камер: монография / Г. А. Шеховцов, О. В. Раскаткина // Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т.– Н.Новгород : ННГАСУ. – 2017. – 118 с.

141. Шеховцов, Г. А. Единый алгоритм уравнивания, оценки точности и оптимизации геодезических засечек: монография / Г. А. Шеховцов // Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ. – 2017. – 123 с.

142. Юдин, В.Н. Определение горизонтальных отклонений подкрановых путей от проектного положения / В.Н. Юдин и др. // Промышленное стр-во. – 1969. – № 8. – С. 45–46.

143. Юрин, А.А. Определение деформаций подкрановых путей, вызванных действием статических нагрузок / А.А. Юрин // Иссл. по соверш. средств и методов инж. геод. – Новосибирск. – НИИГАиК. – 1984. – С. 34–38.

144. Ямбаев, Х.К. Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве / Х.К. Ямбаев // М.: Недра. – 1986. – 264 с.

145. Януш, В. Экономические предпосылки направленности научных работ в инженерной геодезии / В. Януш // Геод. и картогр. –1983. – № 4. – С. 56–59.

146. Януш, В. Принципы вычисления отклонений рельсов подкранового пути от проектного положения / В. Януш // Prz. geod. – 1983. 55. – № 53. – Р. 36–40.

147. Ярмоленко, А.С. Обработка измерений при определении планового положения подкрановых путей / А.С. Ярмоленко // Геод. и картогр. – 1988. – № 1. – С. 29–30.

148. Arnold R. Eine neue Technologie fur Kranbahn-kontrollmessungen // Vermessungstechnik. – 1989, 37. – № 2. – Р. 52–55.

149. Baba W., Kiele E. Система автоматического вычерчивания геодезических графиков подкрановых путей в горизонтальной плоскости // Probl. project. hutn. i przem. maszyn. – 1980. – 28. – № 4. – Р. 127–128.

150. Bariostewicz J., Traczewski W. Graficzna metoda wyrownania wyników pomiarów jezdni suwnicowych // Pr. nauk inst. geotechn. PWrocl. – 1986. – № 50. – Р. 13–17.

151. Bryś H., Zielina L. Verallgemeinerte Methode zur Bestimmung der Geometrie und Bearbeitung des Justierungsprojektes von Kranbahnschienen in der Horizontalebene //Z. Vermessungsw. – 1990. – № 4. – Р. 150–154.

152. Bryś H. Meßverfahren zum Bestimmen der Geometrie der Verformung von Brückenkran und Kranbahnschienen // Allg. Vermess.-Nachr. – 2000. 107. – № 11-12. – P. 391–396.

153. Bubak I. Некоторые новинки при съёмке подкрановых путей // Geod. a Kartogr. obz. – 1984. 30. – № 10. – P. 255–259.

154. Cada V. Lasermesssystem fur Kranbahnen // 19 Congr. Inst. fed. surv. (FIG). Helsinki, june 10-19, 1990. Comiss. Helsinki. – 1990. – P. 366–372.

155. Cada V., Lechner J. Soucasny stav pristrojove techiky pro mereni geometrickych parametru jerabovych drah // Geod. a Kartogr. obz. – 1988. 34. – № 11. – P. 280–285.

156. Cmielewski K., Krzeszowski M., Kuchmister J. Badania dokladnosci jednoetapowej metody pomiaru prostoliniowosci i rozpietosci szyn podsuwnicowych // Zesz. nauk. AR Wroclawiu. Geod. i urzadz. rol. – 1990. – № 5. – P. 29–41.

157. Janusz W. Mit, miert es hogyan merjünk a darupalunk vizspalatakor // Geod. es kartogr. – 1985. 37. – № 4. – P. 256–269.

158. Janusz W. Wykrywanie skoszen i skoretow mostu suwnicy w warunkach dynamicznych // Pr. inst. geod. i kartogr. – 1993. 60. – № 1. – P. 59–66.

159. Janusz W. Wyznaczanie trajektorii ruhu suwnicy i odchytek toru podsuwnicowego ze stanowisk naziemnych // Pr. inst. geod. i kartogr. – 1994. 41. – № 89. – P. 31–45.

160. Kapovic Z. Odredivanje geometrije kranskih staza geodetskim metodama // Strojarstvo. – 1980. 31. – № 2–3. – P. 155–159.

161. Klein K-H. Zur Forderung der qualitatswirksamen Potenziale der Ingenieurvermessung bei der Qualitätssicherung von Kranbahnen. Allg. Vermess.-Nachr. – 2001. 108. – № 3. – P. 91, 92, 94–100.

162. Kovač O. Meroszalag kompensator darupalyak nyomtavolsaganak szabadan nifesrittet szalaggal való mereseher // Geodesia es kartografia. – 1955. – № 12.

163. Krzeszowski M. Posredni pomiar odchylen punktow od prostej odniesienia przy zastosowaniu nowego typu linialy // Zesz. nauk. AR Wroclawiu. Geod. i urzadz. rol. – 1985. – № 3. – P. 15–27.

164. Krzeszowski M. и др. Metoda jednoczesnego pomiaru prostoliniowosci i rozpietosci osi szun jezdni podsuwnicowych // Zesz. nauk. AR Wroclawiu. Geod. i urzadz. rol. – 1987. – № 4. – P. 5–12.

165. Lechner G. Mereni geometrickych parametru jerabovych drah pri pouziti merriciko voziku s daekovym ovladanim // Geod. a Kartogr. Obz. – 1986. 32. – № 5. – P. 117–122.

166. Lukac S., Kapacik A. Analyticke urcovanie smerovych parametrov zeriavovych drah // Geod. a Kartogr. Obz. – 1986. 32. – № 6. – P. 143–148.

167. Pawlowski W., Pilon L., Przewlocki S. Graficzna metoda projektowania rektyfikacji toru jezdneho dzwignicy w plaszczynie poziomej // Prz. geod. – 1989. 61. – № 3. – P. 14–16.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Введение</b> .....	4
<b>Глава 1. Общие сведения о мостовых кранах, условиях и методике геодезической съёмки их ходовой части и подкрановых путей</b> ....	5
1.1. Грузоподъёмные краны мостового типа .....	5
1.2. Требования к геометрическим параметрам подкрановых путей и мостовых кранов .....	8
1.3. Условия и геодезические методы контроля путей и ходовой части мостовых кранов .....	10
1.4. О точности геодезической съёмки подкрановых путей .....	12
1.5. Некоторые приспособления для геодезической съёмки подкрановых путей .....	17
<b>Глава 2. Определение непрямолинейности рельсов</b> .....	25
2.1. Способ струнного створа .....	25
2.2. Способ оптического створа .....	27
2.3. Фотографический способ .....	39
2.4. Способ измерения углов .....	43
2.5. Способ лучевых створов .....	46
2.6. Определение геометрии кранового пути и траектории движения мостового крана .....	51
<b>Глава 3. Определение ширины колеи подкранового пути</b> .....	54
3.1. Способы непосредственного определения ширины колеи .....	56
3.1.1. Контактный способ .....	56
3.1.2. Механический способ .....	58
3.1.3. Дистанционный способ .....	62
3.2. Способы косвенного определения ширины колеи .....	64
3.2.1. Базисный способ .....	64
3.2.2. Координатный способ .....	74
3.2.3. Фотографический способ .....	84
<b>Глава 4. Нивелирование подкрановых рельсов</b> .....	88
4.1. Геометрическое нивелирование .....	88
4.1.1. Нивелирование с использованием лазерной рулетки .....	95
4.1.2. Передача отметок с использованием лазерной рулетки .....	96
4.2. Тригонометрическое нивелирование .....	98
4.3. Гидростатическое нивелирование .....	104
4.4. Фотографический способ нивелирования .....	107
4.5. Комплексный контроль подкрановых путей .....	114
<b>Глава 5. Геодезическая съёмка ходовой части мостовых кранов, недоступных путей, подкрановых балок</b> .....	122
5.1. Определение перекоса ходовых колёс и мостов кранов .....	122
5.1.1. Способ створов .....	123
5.1.2. Способ приближенно-параллельных створов с пентапризмами .....	129



5.1.3. Лазерно-зеркальные способы .....	131
5.1.4. Способ линий, параллельных замерной базе ходовых колёс.....	135
5.2. Геодезические способы съёмки недоступных подвесных путей .....	138
5.3. Определение планово-высотного положения подкрановых балок .....	146
<b>Глава 6. Некоторые аспекты автоматизации съёмки и оптимизации положения подкрановых путей .....</b>	<b>152</b>
6.1. Технические средства автоматизации геодезической съёмки подкрановых путей .....	154
6.2. Определение оптимального положения подкрановых путей .....	163
<b>Заключение.....</b>	<b>170</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>173</b>

Шеховцов Геннадий Анатольевич

Современные методы геодезического контроля  
ходовой части и путей мостовых кранов

*Монография*

Подписано в печать      Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 11,1. Усл. печ. л.11,5. Тираж 500 экз. Заказ №

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
<http://www.nngasu.ru>, [srec@nngasu.ru](mailto:srec@nngasu.ru)