

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Кузбасский государственный технический университет"

С. П. БАХАЕВА

МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по образованию в области горного дела в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности "Маркшейдерское дело" направления подготовки "Горное дело"

Кемерово 2010

УДК 622.1:622.271.012.3

Рецензенты:

Кафедра маркшейдерского дела и геодезии Московского государственного горного университета (зав. кафедрой проф., д-р техн. наук В. Н. Попов)

Технический директор филиала ОАО "УК "Кузбассразрезуголь" Кемеровский угольный разрез" канд. техн. наук А. И. Федосеев

Бахаева, С. П. Маркшейдерские работы при открытой разработке полезных ископаемых : учеб. пособие / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2010. – 171 с.

ISBN 978-5-89070-722-2

Рассмотрены специальные маркшейдерские работы при открытой разработке твердых полезных ископаемых. Изложены сведения о способах создания съемочных сетей, съемах, вынесении геометрических элементов проекта в натуру, определении объемов горных и строительных работ традиционными (оптическими) и современными (электронными, навигационными и лазерными) приборами и инструментами. Приведены сведения о маркшейдерском обеспечении проектирования и вынесении в натуру проектных параметров при горнотехническом этапе рекультивации. Даны общие сведения о деформациях при ведении открытых горных работ и устойчивости бортов карьеров.

Учебное пособие подготовлено для студентов специальности 130402 "Маркшейдерское дело".

Библиогр. 19 назв., табл. 12, ил. 124.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета

ISBN 978-5-89070-722-2

УДК 622.1:622.271.012.3

@ Бахаева С. П., 2010

@ Кузбасский государственный
технический университет, 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ГОС ВПО) № 349 тех/дс от 14.04.2000 предусмотрено существенное изменение структуры учебного плана: значительное увеличение числа часов фундаментальной подготовки и сокращение аудиторного времени на изучение профессиональных дисциплин. Вместе с тем за последние 10–15 лет произошло техническое перевооружение горной промышленности, появились измерительные приборы принципиально другого уровня, активно развиваются новые методики выполнения маркшейдерских работ. В этой связи перед преподавателями высшей школы поставлена задача за меньшее число часов аудиторных занятий обеспечить высокое качество профессиональной подготовки специалистов определенного профиля.

Деятельность горного инженера-маркшейдера связана с многообразием профессиональных задач, число которых постоянно увеличивается. Поэтому, начиная с третьего курса, наряду с изучением естественнонаучных и фундаментальных дисциплин студенты маркшейдерской специальности изучают также специальные дисциплины, отражающие специфику маркшейдерских работ при подземной, открытой разработке полезных ископаемых, шахтном строительстве и др. видах деятельности.

Цель настоящего учебного пособия – показать студентам особенности решения маркшейдерских задач при открытой разработке полезных ископаемых. Здесь на основе ретроспективного анализа учебной, научной литературы и личного опыта автора обобщены традиционные методы маркшейдерских работ, а также показаны методики выполнения маркшейдерских работ с использованием современных приборов (GPS-приемник, электронный тахеометр и лазерный сканер). При этом объем излагаемого материала рассчитан на объем аудиторной и самостоятельной работы по этой дисциплине, предусмотренный учебным планом подготовки инженеров по специальности "Маркшейдерское дело".

Автор выражает признательность профессору кафедры маркшейдерского дела ГТУ КузГТУ А. Д. Трубочанинову за ценные замечания, высказанные в процессе подготовки рукописи к изданию.

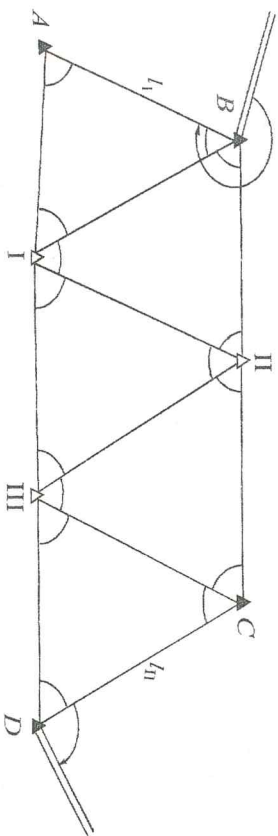


Рис. 1.2. Схема создания МОС методом триангуляции:

A, B, C, D – твердые пункты старшего класса или разряда; I, II, III – определяемые пункты

Трилатерацией называют метод создания геодезических пунктов в виде пространственных треугольников, в которых измеряют все длины сторон и не менее двух углов (рис. 1.3).

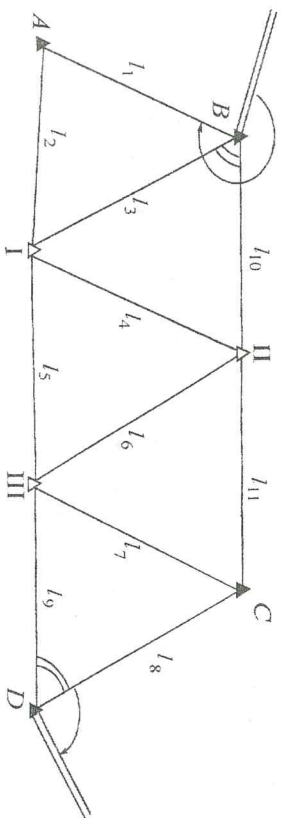


Рис. 1.3. Схема создания МОС методом трилатерации:

A, B, C, D – твердые пункты старшего класса или разряда; I, II, III – определяемые пункты

Метод полигонометрии заключается в измерении длин линий и горизонтальных углов в цепочке пунктов, образующих замкнутую линию. Полигонометрические ходы 4 класса и 1 разряда должны опираться на два исходных пункта, на которых измеряют примычные углы на два исходных направления. Горизонтальные углы в полигонометрическом ходе должны быть не менее 135° . В полигонометрии 2 разряда разрешается продолжение замкнутых ходов с измерением примычных углов от двух твердых направлений (рис. 1.4).

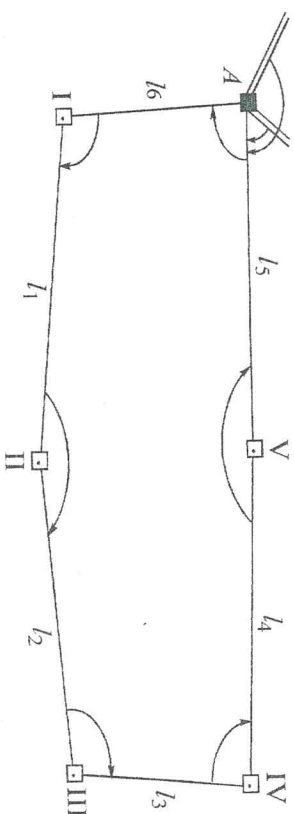


Рис. 1.4. Схема создания МОС методом полигонометрии 2

разряда:
 A – твердый пункт старшего класса или разряда; $I-V$ – определяемые пункты

Метод спутникового определения координат основан на радиодальномерных измерениях линий между спутниками и наземной станцией с последующим многократным определением координат и высоты пункта наземной станции методом линейной засечки. При этом в секторе приема наземной станции должно находиться не менее четырех спутников ГЛОНАСС (Россия) или Navstar (США).

Конструкция маркшейдерской опорной сети зависит от характера ведения горных работ и формы залежи.

При одностороннем развитии фронта горных работ маркшейдерские опорные сети строят в виде цепочки треугольников с закреплением постоянных пунктов на нерабочем борту и временных – на рабочем (рис. 1.5). В этом случае съемочные сети строят только от пунктов, расположенных на нерабочем борту.

При развитии горных работ в обе стороны и на глубину пункты располагают на границе горного отвода в виде фигур геодезического четырехугольника (рис. 1.6).

При палиции целиков и устоявшихся внутренних отвалов внутри карьера пункты маркшейдерской опорной сети создают в виде центральной системы (рис. 1.7).

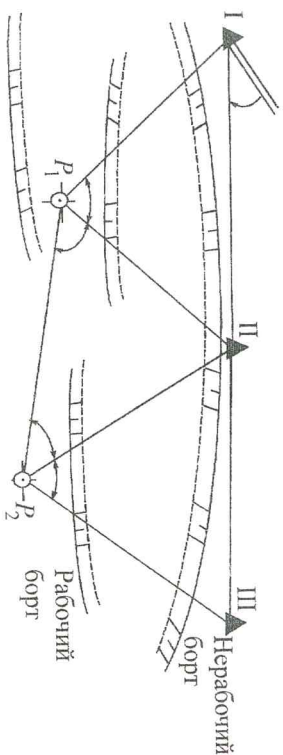


Рис. 1.5. Схема построения МОС в виде цепочки треугольников при одностороннем развитии фронта горных работ:
I, II, III – твердые пункты старшего класса или разряда; P_1, P_2 – определяемые пункты

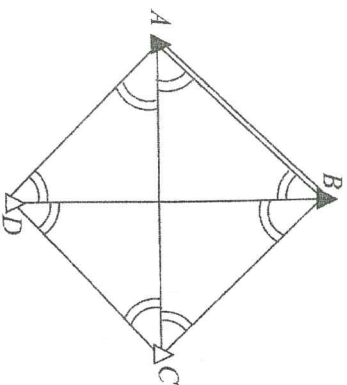


Рис. 1.6. Схема построения МОС в виде полного геодезического четырехугольника:
 A, B – исходные пункты; C, D – определяемые пункты

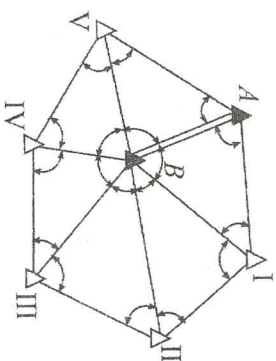


Рис. 1.7. Схема построения МОС в виде центральной системы:
 A, B – исходные пункты; I–V – определяемые пункты

Методика выполнения угловых и линейных измерений, уравнивания маркшейдерских опорных сетей изучается в специальном курсе "Маркшейдерские опорные геодезические сети". Требования к точности построения маркшейдерской опорной сети приведены в Инструкции [8]. Здесь приведем только отдельные показатели, характеризующие маркшейдерскую опорную сеть (табл. 1.1).

Требования к точности построения МОС

Таблица 1.1

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
<i>Триангуляция (трилатерация)</i>			
1. Длина стороны треугольника, км, не более	5	5	3
2. Средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения угла, с	2	5	10
3. Относительная погрешность определения длины стороны в наиболее слабом месте, не более	1:50000	1:20000	1:10000
4. Предельная погрешность ориентирования стороны, с	4	10	20
5. Предельная погрешность положения пунктов относительно 4 класса, м		0,1	0,15
6. СКП взаимного положения пунктов, см		3	4
<i>ПолYGONометрия</i>			
1. Длина стороны хода, км	0,25–2,0	0,12–0,80	0,08–0,35
2. СКП измерения угла, с	2	5	10
3. Предельная относительная невязка хода	1:25000	1:10000	1:5000

Высотные отметки на пунктах маркшейдерской опорной сети определяют геометрическим нивелированием III и IV класса, периметр P и высотная невязка f_h хода соответствуют следующим величинам:

– для III класса: $P_{III} \leq 150$ км, $f_{h_{III}} = \pm 10\sqrt{L}$;
– для IV класса: $P_{IV} \leq 50$ км, $f_{h_{IV}} = \pm 20\sqrt{L}$.

Зона размещения пунктов МОС

При проектировании маркшейдерских опорных сетей необходимо предварительно выполнить районирование территории. Районирование заключается в выявлении зон возможных дефор-

маций прилегающей к карьеру земной поверхности от влияния горных работ на надежность геодезических сетей. По степени влияния выделяют: зоны опасного, возможного и безопасного размещения пунктов.

Границу зоны безопасного размещения пунктов вблизи карьеров или отвалов строят на расстоянии $1,5H$ (H — проектная глубина карьера или высота отвала) от проектного контура на конечное положение горных работ. От границ зоны безопасного размещения до проектного контура карьера распространяется зона возможного размещения пунктов. Площадки устойчивых пород, валов, на которых закончено складирование вскрышных пород, относятся к зоне возможного размещения геодезических пунктов. В пределах проектного контура карьера — зона опасного размещения пунктов.

Подробнее сведения о маркшейдерских опорных геодезических сетях изложены в учебном пособии Р. В. Бузукка [5].

1.2. Основные требования к построению сетей съёмочного обоснования

Сети съёмочного обоснования (далее съёмочные сети, сокращенно — СС) являются базисом для выполнения всех маркшейдерских работ, и от их надежности зависит уровень всего маркшейдерского обеспечения на карьере. Поэтому к работе этой следует подходить особо ответственно с учетом перспектив развития горных работ. Непрерывное подвигание фронта горных работ карьера, ограниченная ширина рабочих площадок и берм, на которых закрепляют пункты съёмочной сети, многогранность съемки (рис. 1.8) требуют непрерывного обновления сети пунктов. Поэтому при выборе способа создания обоснования необходимо учитывать условия ведения горных работ и закладывать пункты в местах, где будет обеспечиваться их длительная сохранность и удобство пользования при съемке в карьере.

В зависимости от окружающего рельефа, горно-геологических условий, глубины, размеров и конфигурации карьера, а также способа детальной маркшейдерской съемки съёмочное обоснование может создаваться различными способами. Приведем здесь основные сведения о создании сетей съёмочного

обоснования, более подробная информация о методике угловых и линейных измерений, способах вычисления координат приведена в учебнике [10], а также Инструкции [8].

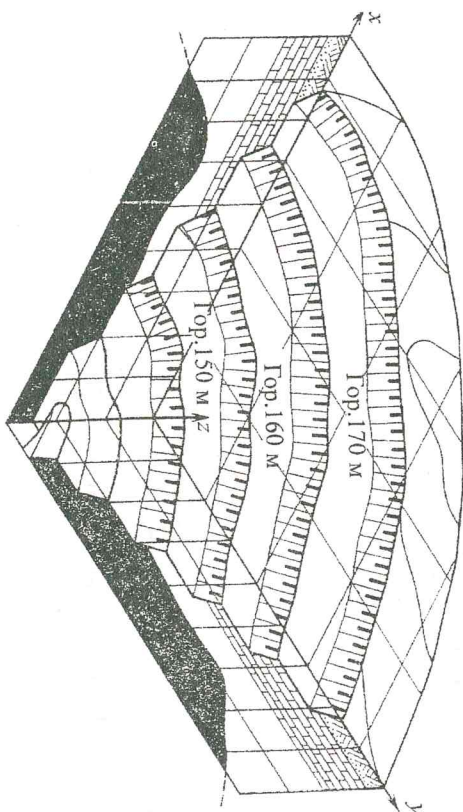


Рис. 1.8. Блок-диаграмма участка карьера

Назначение съёмочных сетей: для выполнения съемок объектов открытых горных работ (ОГР) и земной поверхности, для вынесения геометрических элементов (центра, оси сооружения) в натуру, для контроля хода строительства, для выполнения разбивочных работ. При построении съёмочных сетей руководствуются теми же тремя основными *принципами* организации работ, что и при построении опорных маркшейдерских сетей (рис. 1.9).

Первый — построение съёмочных сетей ведут *от общего к частному*, т. е. от сетей более высокого класса (1) к меньшему классу (4), от более точных к менее точным. Съёмочную сеть можно развивать только от пунктов старшего класса или разряда — от пунктов маркшейдерской опорной сети.

Второй — при построении съёмочной сети обеспечивают *необходимую и достаточную точность*. Например, для обеспечения средней квадратической погрешности измерения углов $15''$ следует использовать теодолит Т5 или Т15, более высокоточный теодолит (например, Т1) имеет большую массу, и требуется зна-

чительно больше время для его юстировки, а при работе с менее точным прибором (например, ТЗ0) невозможно обеспечить требуемую точность измерения угла из-за его конструктивных особенностей.

Третий – это принцип *надёжности* или *всеобщего контроля*. Для обеспечения этого принципа выполняют избыточные (лишние) измерения. Например, для определения плановых координат пункта съёмочной сети способом обратной геодезической засечки достаточно иметь 3 опорных пункта, но для обеспечения принципа контроля обратную геодезическую засечку решают от 4 опорных пунктов.

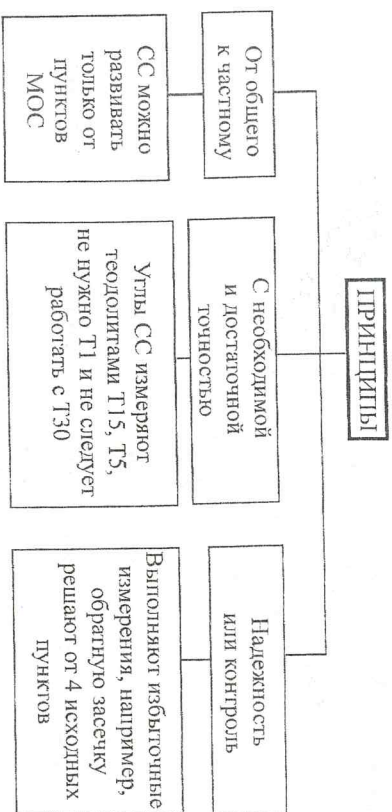


Рис. 1.9. Схема организации работ при построении съёмочных сетей (СС)

При создании сети пунктов съёмочного обоснования используют те же *методы*, что и при построении маркшейдерской опорной сети: триангуляции и полигонометрии. Метод триангляции до настоящего времени не нашел применения в практике открытых горных работ из-за трудоемкости линейных измерений. *Точность* построения съёмочной сети (табл. 1.2) регламентируется Инструкцией [8], при использовании приборов и методики работ, обеспечивающих более высокую точность измерений, допускается изменять параметры построения съёмочных сетей, при этом погрешности положения пунктов, не должны превышать установленных в Инструкции [8] величин.

Требования к точности построения СС

Таблица 1.2

Показатели	Масштаб съёмки		
	1:1000	1:2000	1:5000
1. Предельная погрешность положения пункта относительно пунктов МОС (0,4 мм в масштабе съёмки), м:			
– в плане	0,4	0,8	2,0
– по высоте	0,2		
2. СКП измерения углов, с	15–20		
3. СКП измерения длины светодальномером при определении положения пункта полирным способом, м	0,1		
4. Расстояние от исходных пунктов МОС до определяемых (пунктов СС), км	1	2	3
5. Длина стороны, м:			
– в треугольнике	не более 1000		
– в теодолитном ходе при измерении:	100–400		
• оптическими приборами	не ограничивают		
• электронными тахеометрами			
6. Допустимая угловая невязка, с:			
– в треугольнике	60		
– в теодолитном ходе при измерении:			
• оптическими приборами	$\pm 45'' \sqrt{n}$		
• электронными тахеометрами	$\pm 20'' \sqrt{n}$		
7. Относительная невязка теодолитного хода	1:3000		
8. Предельная длина, км:			
– цепочки треугольников	1,5	3,6	6,0
– теодолитного хода	1,8	2,5	6,0
9. Расхождение между двумя определенными координат пунктов способом засечки (0,6 мм в масштабе съёмки), м	0,6	1,2	3,0
10. Расхождение из двух определений превышения тригонометрическим нивелированием, см (l – расстояние в км)	0,031 при $l \leq 1$ км 0,021 при $l > 1$ км		
11. Невязка ходов тригонометрического нивелирования, мм (L – длина хода, м; n – число сторон) при измерении:			
• оптическими приборами	$0,04L \sqrt{n}$		
• электронными тахеометрами	$0,01L \sqrt{n}$		
12. Невязка хода технического нивелирования, мм	$50 \sqrt{L}$		

* Заменитель масштаба съёмки показывает ее детальность, чем меньше знаменатель, тем подробнее съёмка.

В отдельных случаях (при строительстве зданий и сооружений, разбивке монтажных осей горноотрапспортного оборудования) точность создания пунктов съемочного обоснования определяется требованиями СНиП либо специальными инструкциями по монтажу этого оборудования.

1.3. Способы построения съемочных сетей

1.3.1. Геодезические засечки

Обратная геодезическая засечка

Для определения координат пункта P съемочной сети теодолит устанавливают на этом пункте и измеряют углы α и β между тремя пунктами маркшейдерской опорной сети, для контроля измеряют угол γ (рис. 1.10). Измерения обычно выполняют способом круговых приемов, для этого при круге слева (КЛ) по лимбу закрепляют отсчет близкий к 0° и визируют на пункт опорной сети, расположенной на севере (I). По алидаде берут отсчет, а затем последовательно визируют на остальные пункты маркшейдерской опорной сети (II, III и IV), замеры при этом направления. Для контроля полевых измерений последнее визирование производят на начальный пункт I. Затем трубу переводят через зенит и производят измерения при круге справа (КП).

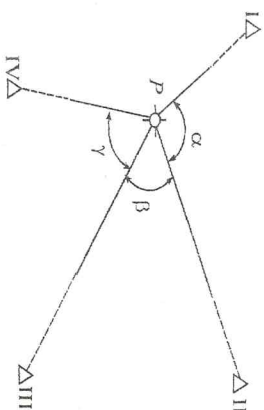


Рис. 1.10. Схема построения СС способом обратной геодезической засечки при измерении углов способом круговых приемов: I, II, III, IV — пункты МОС; P — пункт съемочной сети

Достоинства: отсутствие линейных измерений, высокая производительность полевых работ.

Недостатки: необходимо иметь видимость на 4 пункта маркшейдерской опорной сети, большой объем камеральных вычислений.

Использование электронного тахеометра при создании съемочных сетей способом обратной геодезической засечки позволяет вести вычисление координат пункта непосредственно в полевых условиях с помощью встроенного программного обеспечения с записью их в файл "каталог координат". В этой связи с пункта, определенного обратной засечкой, можно сразу же выносить в натуру проектные точки по заданным координатам, что существенно сокращает затраты времени на полевые работы.

В том случае, когда определяемый пункт лежит на окружности, проходящей через два или три исходных пункта, задача по определению координат пункта P от пунктов маркшейдерской опорной сети не имеет решения (рис. 1.11).

При любом расположении на окружности пункта P (P_1, P_2, P_3) угол α , измеренный на опорные пункты, будет одинаков и равен половине дуги I-II. Такое расположение точек в обратной засечке называют опасным кругом.

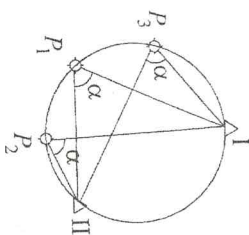


Рис. 1.11. Схема расположения пунктов на опасном круге

Поискать положение пункта P , вставленного обратной засечкой, определяют по формуле

$$m_P = \pm \frac{m_B l_{II-P}}{r \sin(\varphi + \psi)} \sqrt{\left(\frac{l_{I-P}}{l_{I-II}} \right)^2 + \left(\frac{l_{IV-P}}{l_{II-IV}} \right)^2}, \quad (1.1)$$

где m_P — средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения угла в засечке (табл. 1.1); r — коэффициент для перехода из градусной меры в радианную ($r = 206$); φ, ψ — углы измеряют графически с точностью $0,5^\circ$; $l_{II-P}, l_{I-P}, l_{I-II}, l_{IV-P}, l_{II-IV}$ — длины измерений графически с точностью $0,1$ км (рис. 1.12).

Анализ формулы (1.1): $m_P \rightarrow \max$ при $(\varphi + \psi) \rightarrow \min$, $m_P \rightarrow \min$ при $(\varphi + \psi) \rightarrow 90^\circ$.

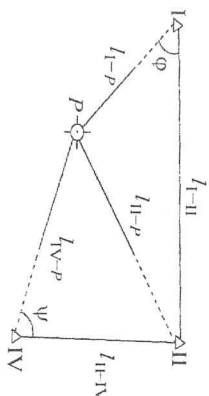


Рис. 1.12. Схема к определению погрешности положения пункта P при вставке его в сеть способом обратной геодезической засечки

Прямая геодезическая засечка

Для определения плановых координат пункта P (рис. 1.13) измеряют горизонтальные углы (α и β) с пунктов маршейдерской опорной сети I, II и III на пункт P съёмочной сети.

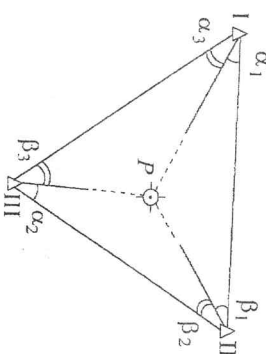


Рис. 1.13. Схема создания съёмочной сети способом прямой геодезической засечки: I, II, III – пункты МОС; P – определяемый пункт СС

Достоинства: отсутствие линейных измерений, обеспечивается более высокая точность по сравнению с обратной засечкой, необходима прямая видимость только на три твердых пункта, меньший объем камеральных работ по сравнению с обратной засечкой.

Недостатки: большой объем полевых работ, связанный с переходами между пунктами маршейдерской опорной сети.

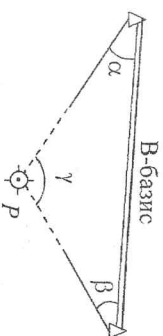


Рис. 1.14. Схема к определению погрешности положения пункта P при вставке его прямой геодезической засечкой

Погрешность положения пункта P , вставленного прямой геодезической засечкой, определяют по формуле

$$m_P = \pm \frac{m_B}{\rho \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}, \quad (1.2)$$

где m_P – СКП измерения угла в засечках (табл. 1.1); ρ – коэффициент для перехода из градусной меры в радианную ($\rho = 206$); α, β, γ – углы, измеряют графически с точностью 0,5°, B – длина базиса между пунктами МОС, измеряют графически с точностью 0,1 км.

Анализ формулы (1.2):

$m_P \rightarrow \min$ при $\gamma = 110^\circ, \alpha = \beta = 45^\circ$;

$m_P \rightarrow \max$ при $\gamma \leq 30^\circ, \alpha$ или $\beta = 60^\circ$;

m_P в 2–4 раза меньше при $\gamma = 150^\circ$, чем при $\gamma = 30^\circ$.

Боксован (комбинированная) геодезическая засечка

Горизонтальные углы измеряют с двух пунктов маршейдерской опорной сети II и III и определяемого пункта съёмочной сети P (рис. 1.15). Применяют в тех случаях, когда имеется три опорных пункта и на одном из них (I) невозможно установить теодолит.

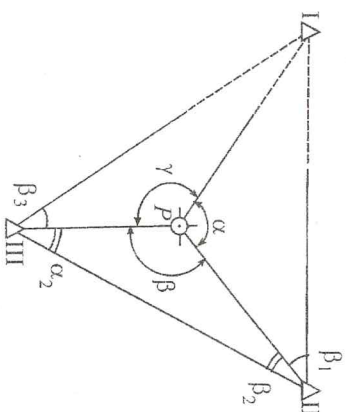


Рис. 1.15. Схема построения съёмочной сети способом боксован (комбинированной) геодезической засечки: I, II, III – пункты маршейдерской опорной сети; P – определяемый пункт съёмочной сети

Достоинства и недостатки те же, что для прямой засечки. **Погрешность** положения пункта P определяют по формуле (1.2).

1.3.2. Полирный способ

На нерабочем борту карьера выбирают пункт маршейдерской опорной сети O (полно) с таким расчетом, чтобы с него была видимость всех рабочих площадок карьера. С полюса O от

двух исходных направлений измеряют горизонтальные $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ и вертикальные $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ углы теодолитом, а также наклонные расстояния $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ светодальномером или рулеткой (рис. 1.16).

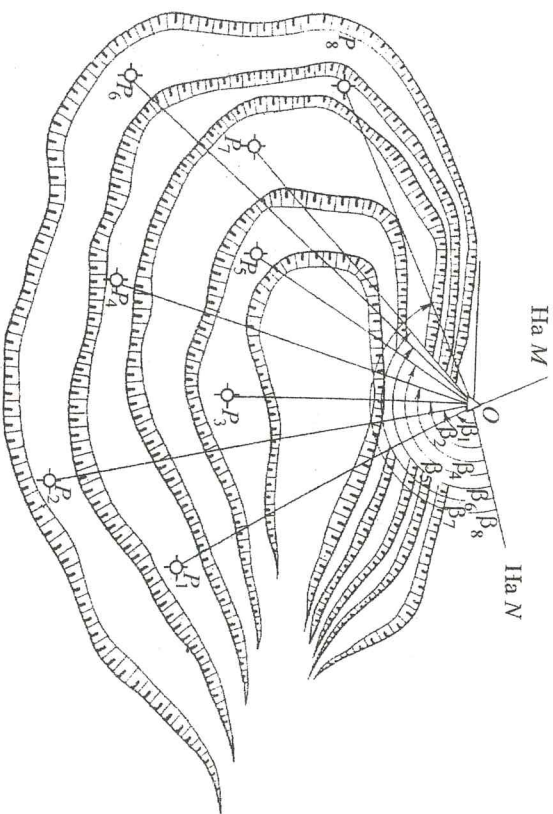


Рис. 1.16. Схема построения съёмочной сети полярным способом

Достоинства: универсальность применения, высокая производительность, достаточно прямой видимости с определяемого пункта только на один пункт маркшейдерской опорной сети.

Недостатки: наличие линейных измерений, бесконтрольность.

Для контроля измерений при определении положения пунктов съёмочной сети полярным способом горизонтальные углы измеряют от двух исходных пунктов (M и N), а длины линий дважды.

Погрешность положения пункта P в полярном способе определяют по формуле

$$m_P = \pm \sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2} l^2 + m_l^2}, \quad (1.3)$$

где m_l — СКП измерения длин линий, зависит от способа измерения длин:

$$- \text{при измерении рулеткой: } m_l^2 = \mu^2 l + \lambda^2 l; \quad (1.4)$$

$$- \text{при измерении светодальномером: } m_l = a + b l, \quad (1.5)$$

где μ и λ — коэффициенты соответственно случайных и систематических погрешностей при измерении длин линий рулеткой; a, b — коэффициенты светодальномера, принимают по паспорту прибора.

1.3.3. Теодолитный ход

При ведении открытых горных работ теодолитные ходы прокладывают вдоль рабочей площадки уступа. При криволинейной форме карьера прокладывают замкнутый теодолитный ход с привязкой к одному пункту I опорной сети (рис. 1.17, а). При прямолинейном фронте горных работ вдоль рабочих площадок уступов прокладывают разомкнутые ходы, которые опираются своими концами на два пункта I и II маркшейдерской опорной сети (рис. 1.17, б).

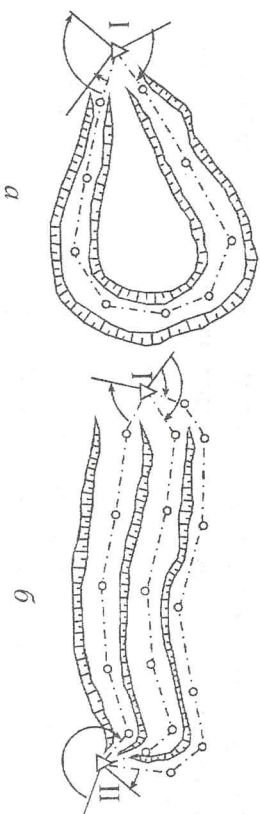


Рис. 1.17. Схемы теодолитных ходов:

а — замкнутый; б — разомкнутый

Погрешность положения пункта P для любого теодолитного хода определяют по формуле

$$m_P = \sqrt{\sum \frac{m_i^2}{\rho^2} l_i^2 + M_l^2}, \quad (1.6)$$

где l_i — длина стороны хода, м; M_l — средняя квадратическая погрешность за счет погрешности измерения длин линий; при измерении длин линий рулеткой определяют по формуле (1.7), а при измерении длин линий светодальномером — по формуле (1.8).

$$M_l = \sqrt{\mu^2 \sum l_i + \lambda^2 L^2}, \quad (1.7)$$

где L — длина замыкающей хода, м.

$$M_l = m_l \sqrt{n}, \quad (1.8)$$

где m_l — погрешность измерения длины светодальномером, определяют по формуле (1.5); n — число сторон в ходе.

В связи с трудоемкостью измерения длин линий рулетками и отсутствия светодальномеров прибегают к косвенному способу измерения длин, например, прокладке параллактических или азимутальных ходов.

Параллактический ход

Измеряют левые по ходу горизонтальные углы; для измерения горизонтального расстояния d (рис. 1.18, а) в точке P_1 устанавливают теодолит, а в точке P_2 на штативе и подставке — горизонтальную базисную рейку. Измерив между двумя направлениями на концевые марки параллактический угол β_0 теодолитом, горизонтальное расстояние d вычисляют по формуле

$$d = \frac{B}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta_0}{2}. \quad (1.9)$$

Погрешность определения расстояния при параллактическом способе измерения длин определяют по формуле

$$m_l = \frac{m_{\beta_0}}{\rho B} d^2, \quad (1.10)$$

где m_{β_0} — СКП измерения параллактического угла, с; B — длина базисной рейки, м; d — горизонтальное проложение, м.

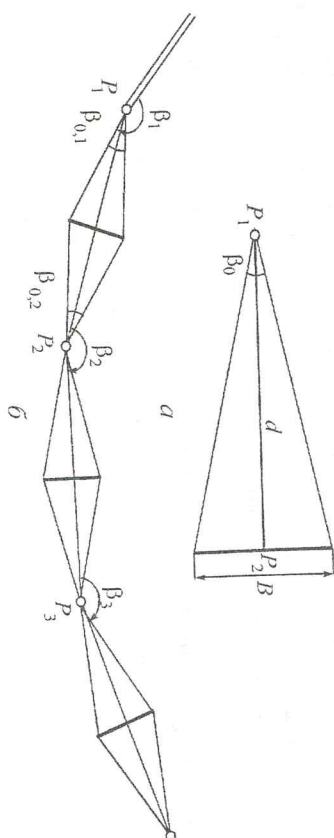


Рис. 1.18. Схема построения СС в виде параллактического хода

Пример: при измерении параллактического угла с погрешностью $m_{\beta_0} = 1''$ и длине базисной рейки $B = 2$ м погрешность определения расстояния вычисляют из выражения

$$m_l = \frac{1''}{412500} d^2, \text{ тогда абсолютные и относительные погрешности}$$

измеряемых длин будут равны:

d_i	m_l	m_l/d
50	0,06	1:8300
100	0,024	1:4170
200	0,1	1:2000
300	0,22	1:1360

Для уменьшения погрешности измерения длин линий параллактическим способом базисную рейку устанавливают посередине длины (рис. 1.18, б).

Достоинства: универсальность применения.

Недостатки: наличие линейных измерений, трудоемкость полевых работ, при длинах более 150 м погрешность превышает допустимую для съемочной сети (табл. 1.2).

Азимутальный ход

При отсутствии дальномерных приборов используют способ определения длин линий боковыми засечками, разработанный проф. А. И. Дурневым (рис. 1.19).

Вдоль рабочей площадки уступа между двумя опорными пунктами A и B закрепляют пункты съемочной сети P_1-P_n . На противоположном борту выбирают пункты маркшейдерской опорной сети (M) либо закрепляют пункты съемочной сети (N, P), на которых устанавливают визирные знаки. Теодолитом измеряют горизонтальные углы в треугольниках: $\alpha_1, \beta_1; \alpha_2, \beta_2; \dots; \alpha_n, \beta_n$; углы β_A и β_B для привязки к пунктам маркшейдерской опорной сети, а также длину первой стороны хода — AP_1 , и для контроля длину P_nB . Остальные длины линий вычисляют, используя измеренные углы α_i, β_i по теореме синусов.

Достоинства: отсутствие линейных измерений, большое число пунктов увязано в единую систему.

Недостатки: большой объем подготовительных работ.

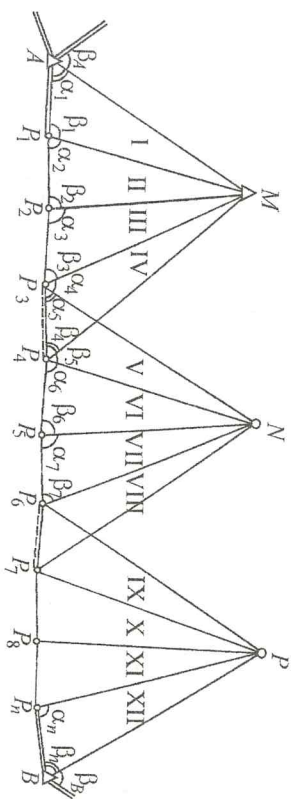


Рис. 1.19. Схема построения съемочной сети способом азимутального хода с определением длин линий косвенным способом

Относительную погрешность любой стороны в цепочке треугольников определяют по формуле

$$\frac{m_l}{l} = \pm \sqrt{\left(\frac{m_{l_0}}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha_0}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2} \Sigma[R + K'], \quad (1.11)$$

где m_{l_0}/l_0 , m_{α_0} — соответственно относительные погрешности измерения длины и ориентирования исходной стороны (табл. 1.1); m_{β} — погрешность измерения угла в теодолитном ходе (табл. 1.2); R, K' — коэффициенты, определяемые для соответ-

ствующих треугольников: R — для крайних (I, IV, V, VIII, IX и XII), K' — для внутренних (II, III, VI, VII, X и XI).

Например, коэффициент R для треугольника I равен

$$R_I = \text{ctg}^2 \alpha_1 + 2 \text{ctg}^2 (\alpha_1 + \beta_1) - 2 \text{ctg} \alpha_1 \text{ctg} (\alpha_1 + \beta_1). \quad (1.12)$$

Коэффициент K' для треугольника II равен

$$K'_{II} = \text{ctg}^2 \alpha_2 + \text{ctg}^2 \beta_2. \quad (1.13)$$

1.3.4. Микротриангуляция

Пункты съемочной сети закрепляют в виде цепочки треугольников (рис. 1.20) или отдельного треугольника правильной формы (рис. 1.21). В каждом треугольнике измеряют все углы, в сети должна быть твердая сторона (l_{I-II}) и не менее 2-х твердых пунктов (I и II) маркшейдерской опорной сети, для контроля измеряют одну сторону в конце цепочки треугольников ($l_{P_4-P_6}$).

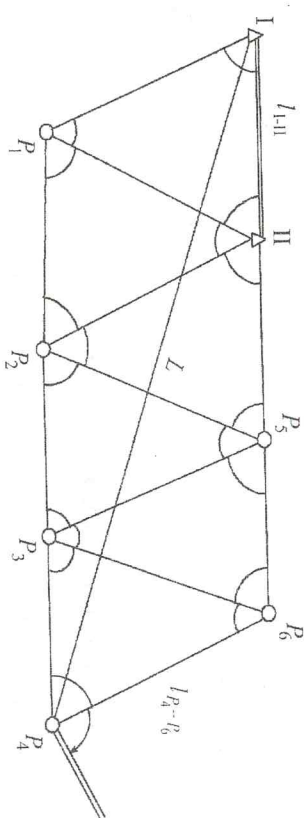


Рис. 1.20. Схема построения СС в виде цепочки треугольников (способом микротриангуляции):
I, II — пункты МОС; P_1-P_6 — определяемые пункты съемочной сети

Погрешность положения любого пункта съемочной сети в цепочке треугольников определяют по формуле

$$m_{P_4} = L \sqrt{\left(\frac{m_{l_0}}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{m_{\alpha}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2} (n+1), \quad (1.14)$$

где $n = \frac{k-1}{2}$ — для нечетного числа сторон; $n = \frac{k}{2}$ — для четного

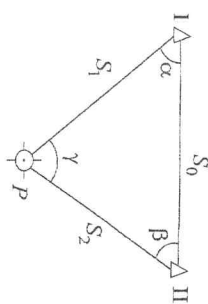


Рис. 1.21. Схема построения отдельного треугольника способом микротриангуляции

числа сторон, k — число промежуточных сторон между исходным пунктом и пунктом съемоной сети, для которого определяют погрешность; L — диагональ цепочки треугольников (замыкающая между исходным и определяемым пунктами).

Погрешность положения пункта P для отдельного треугольника (рис. 1.21) определяют по формуле

$$m_P = \pm \frac{m_B}{\rho \sin \gamma} \sqrt{\frac{S_0^2 + S_1^2 + S_2^2}{3}}, \quad (1.15)$$

где S_0 — исходная (базисная) сторона.

Достоинства: большое число пунктов увязано в жесткую систему, одновременная сохранность пунктов, отсутствие линейных измерений.

Недостатки: сложно создать треугольники правильной формы, большой объем работ, связанный с переходами между пунктами.

1.3.5. Способ эксплуатационной сетки

На границе участка ведения открытых горных работ закрепляют четыре граничных пункта (I–IV), которые являются пунктами маршейдерской опорной сети, координаты этих пунктов определяют любым известным методом (триангуляция, трилессировка, полигонометрия). Между граничными пунктами способом створной линейной засечки по методике полигонометрии 2 разряда и нивелирования IV класса определяют координаты пунктов основного каркаса сетки — точки 1–10 (рис. 1.22).

Разбивку заполняющих квадратов или прямоугольников сетки (пункты P_1 – P_6) выполняют с помощью пересекающихся визирных лучей двух хорошо выверенных теодолитов, установленных на пунктах, расположенных на ранее разбитых осевых

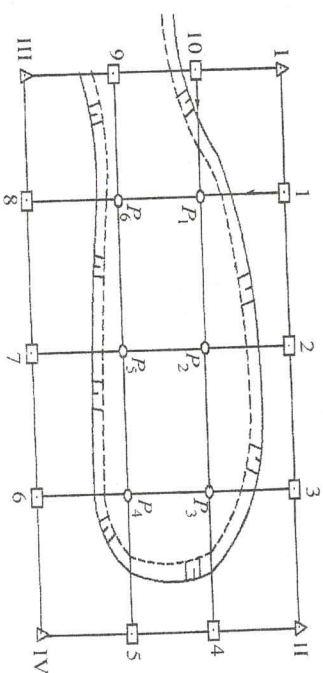


Рис. 1.22. Схема построения СС способом эксплуатационной сетки

Достоинства: обеспечивается жесткая связь пунктов съёмочной сети с геодезической структурой и горными работами, возможно применение простых способов съёмки, легко восставлять утраченные пункты, отсутствие линейных измерений.

Недостатки: ограниченные условия применения — при скопном рельефе и малой глубине горных работ (не более 2–3 углов), большой объем подготовительных работ по закреплению пунктов основного каркаса.

Погрешность положения пункта P

$$m_P = \pm \sqrt{m_{\text{ств}1}^2 + m_{\text{ств}2}^2}, \quad (1.16)$$

$$m_{\text{ств}} = \pm \sqrt{m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{в}}^2 + m_{\text{ф}}^2 + m_{\text{вх.п}}^2}, \quad (1.17)$$

$$m_{\text{вх}} = \pm \sqrt{m_{\text{и}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{в}}^2 + m_{\text{ф}}^2 + m_{\text{л}}^2}, \quad (1.18)$$

где $m_{\text{и}}$ — СКП положения граничных пунктов (I–IV), зависит от способа определения координат этих пунктов; $m_{\text{ц}}$, $m_{\text{р}}$, $m_{\text{в}}$, $m_{\text{ф}}$, $m_{\text{л}}$ — СКП, обусловленные соответственно погрешностью центрирования теодолита, центрирования визирной цели, визирования, фиксирования точки или пункта (зависит от типа сигнала), измерения длины, которая в зависимости от способа измерения длины определяется по одной из формул (1.7), (1.8) или (1.10).

1.3.6. Способ профильных (створных) линий

Вдоль нерабочего борта карьера закрепляют пункты I–VI, прокладывают полигонометрический ход 2 разряда, высотные отметки пунктов определяют нивелированием IV класса. Перпендикулярно к линии хода выставляют дополнительные пункты в приборной зоне II–V'. На рабочей площадке уступа пункт P выбирают так, чтобы он был в створе с опорными пунктами, расположенными на нерабочем борту. Замеряют углы α и β , стороны вычисляют по теореме синусов (рис. 1.23). Координаты пункта P определяют из решения боковой засечки.

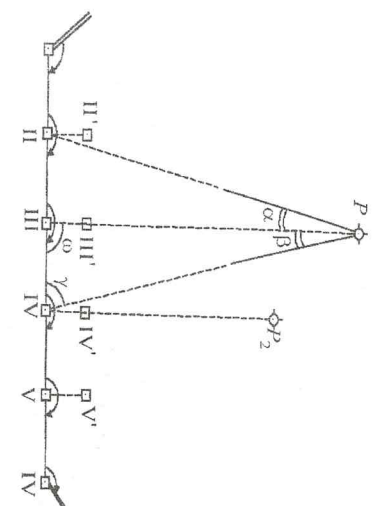


Рис. 1.23. Схема построения СС способом профильных (створных) линий:
I–IV – пункты полигонометрии 2 разряда; II–V' – дополнительные пункты; P – определяемый пункт съемочной сети

Достоинства: оперативность полевых работ, отсутствие линейных измерений, жесткая связь опорных пунктов с горными работами.

Недостатки: большой объем подготовительных работ, сложно установить пункт P в створе с опорными (III, III').

Погрешность положения пункта P определяют по формуле

$$m_P = \pm \frac{m_{\beta} l_{III-IV}}{\rho} \sqrt{\frac{\sin^2 \beta + \sin^2 \omega}{\sin^4 \gamma}}. \quad (1.19)$$

1.3.7. Определение высотных отметок на пунктах съемочной сети

При уклонах наклона рельефа менее $5-8^\circ$ высотные отметки определяют геометрическим нивелированием. При больших углах наклона высотные отметки определяют тригонометрическим нивелированием. Нивелирование выполняют от двух опорных пунктов или в прямом и обратном направлениях от одного пункта маркшейдерской опорной сети.

В том случае, когда измеряют наклонную длину l_n (полярный способ, способ геодезического хода), превышение между точками h определяют по формуле (1.20), а среднюю квадратическую погрешность превышения m_h в этом случае вычисляют по формуле (1.21)

$$h = l_n \sin \delta + i - v + f, \quad (1.20)$$

где l_n – наклонная длина; δ – угол наклона; i – высота инструмента; v – высота визирования; f – суммарная поправка за кривизну Земли и рефракцию лучей, $f = \frac{d^2}{2R} - 0,16 \frac{d^2}{2R} = 0,42 \frac{d^2}{R}$ (первое слагаемое – поправка за кривизну Земли, второе – поправка за рефракцию, $-0,16$ – среднее значение коэффициента рефракции; d – горизонтальное проложение, R – радиус Земли, $R = 6370$ км).

$$m_h^2 = m_{l_n}^2 \sin^2 \delta + \frac{m_\delta^2 l_n^2}{2} \cos^2 \delta + m_i^2 + m_v^2 + m_k^2 \frac{d^4}{4R^2}, \quad (1.21)$$

где m_i , m_δ , m_l , m_v , m_k – средние квадратические погрешности, обусловленные соответственно погрешностями измерения расстояния, угла наклона, высот инструмента, сигнала, коэффициента рефракции.

Максимальное значение средней квадратической погрешности коэффициента рефракции при измерении углов наклона в наделе и в конце дня определяют по формуле

$$m_{k \max} = 0,03 d^2 / R.$$

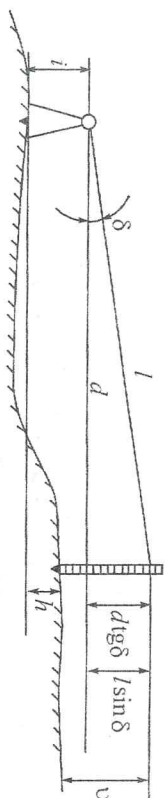


Рис. 1.24. Схема тригонометрического нивелирования

В том случае, если расстояние между пунктами (горизонтальное проложение) *вычисляют аналитически* из решения обратной геодезической задачи (при создании СС способом геодезических засечек, микротриангуляции) превышение между пунктами вычисляют по формуле (1.22), а среднюю квадратическую погрешность превышения m_h в этом случае определяют по формуле (1.23):

$$h = d \operatorname{tg} \delta + i - v + f; \quad (1.22)$$

$$m_h^2 = m_l^2 \operatorname{tg}^2 \delta + \frac{m_\delta^2 d^2}{\rho^2 \cos^4 \delta} + m_i^2 + m_v^2 + m_k^2 \frac{d^4}{4R^2}. \quad (1.23)$$

1.4. Особенности создания съёмочного обоснования для фотограмметрических съёмок

1.4.1. Наземная стереофотограмметрическая съёмка

Съёмочную сеть для наземной стереофотограмметрической съёмки закрепляют в виде двух пунктов базиса фотографирования S_1 и S_2 и трех опорных пунктов (1, 2, 3), расположенных на дальнем плане стереопары, два из которых устанавливают по границам стереопары, а один (2) по направлению правой оси съёмки (рис. 1.25). Привязку пунктов съёмочной сети (S_1 , 1, 2, 3) к пунктам маршейдерской опорной сети выполняют рассмотренными выше способами (геодезические засечки, поларный способ, геодезический ход, микротриангуляция и др.). Если левую точку базиса S_1 привязать к пунктам маршейдерской опорной сети невозможно, закрепляют дополнительный пункт съёмочной сети (4) вдоль правой оси на расстоянии примерно $4B$ от базиса фотографирования.

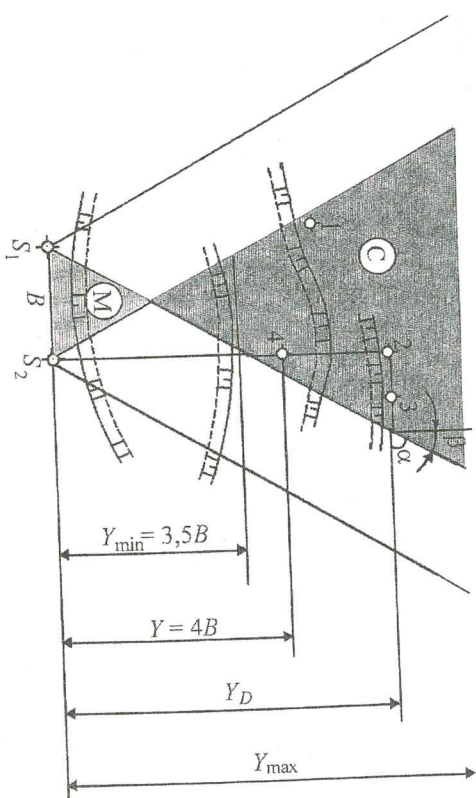


Рис. 1.25. Схема расположения пунктов СС для наземной стереофотограмметрической съёмки:

С – зона стереоэффекта; М – мертвая зона; S_1 , S_2 – точки базиса фотографирования; 1, 2, 3, 4 – опорные пункты стереопары

Остояние дальнего плана снимаемого объекта от базиса фотографирования не должно превышать 4, 3 и 1,5 км при использовании фотокамеры с фокусным расстоянием соответственно 300, 200 и 100 мм.

Условия для выбора базиса фотографикования

1. Точки базиса S_1 и S_2 располагают выше снимаемых объектов или на одном уровне с ними, в этом случае обеспечивается съёмка с минимальным размером мертвых зон.

2. Базис фотографирования выбирают параллельно фронту горных работ. Длину базиса фотографирования вычисляют по формуле (1.24), она не должна быть менее 10 м:

$$B = \frac{Y_D^2 K}{5f dt}; \quad (1.24)$$

$$0,5 \leq K = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}; \quad t = \cos \varphi - 0,3 |\sin \varphi|,$$

где Y_D – максимальное отстояние снимаемых объектов от базиса фотографирования, м; K, t – коэффициенты, зависящие от взаимного расположения проектирующего луча и снимаемого объекта на дальнем плане; f – фокусное расстояние фотокамеры, мм; 5 – удвоенная СКП определения объемов горных работ, %; d – ширина экскаваторной заходки, м; φ – угол скоса, град.

3. Максимальное отстояние по оси съемки от базиса фотографирования до дальней границы снимаемого объекта зависит от масштаба съемки и прибора, используемого для обработки фотоснимков. Например, при обработке фотоснимков на стереоавтографе 1318: при составлении плана масштаба 1:1000 $Y_{\max} = 800$ м, а для масштаба 1:2000 $Y_{\max} = 1600$ м.

4. Минимальное отстояние до снимаемого объекта равно $Y_{\min} = 3,5$ В.

5. Превышение крайних точек базиса определяют по формуле

$$h \leq \frac{b \cdot m}{z \cdot 10^3}, \quad (1.25)$$

где b_z – максимальная величина вертикального параллакса базисной составляющей, мм; m – знаменатель масштаба модели.

Например, при составлении плана масштаба 1:2000 на стереоавтографе 1318: $b_z = \pm 10$ мм, $Y_{\max} = 1600$ м, $m = 1:4000$, превышение между точками базиса составит

$$h = \frac{10 \cdot 4000}{10^3} = 40 \text{ м.}$$

Более подробная информация о создании съемочного обобщения при наземной стереофотограмметрической съемке изложена в книге [13].

1.4.2. Воздушная стереофотограмметрическая съемка

Съемочное обобщение для воздушной стереофотограмметрической съемки закрепляют четырьмя опорными пунктами на каждую стереопару (рис. 1.26). При глубине карьера более 200 м закрепляют дополнительно пятый пункт на каждую стереопару на дне карьера, т. е. на минимальной отметке.

Величину продольного перекрытия фотоснимков определяют по формуле

$$p = 62 + 0,5 \frac{h_{\max}}{H_{\phi}}. \quad (1.26)$$

При двухмаршрутной съемке вычисляют также величину поперечного перекрытия:

$$q = 34 + 0,5 \frac{h_{\max}}{H_{\phi}}, \quad (1.27)$$

где 62, 34 – минимальная величина соответственно продольного и поперечного перекрытия фотоснимков, %; $h_{\max}$ – максимальная глубина карьера, м; H_{ϕ} – высота фотографирования, м.

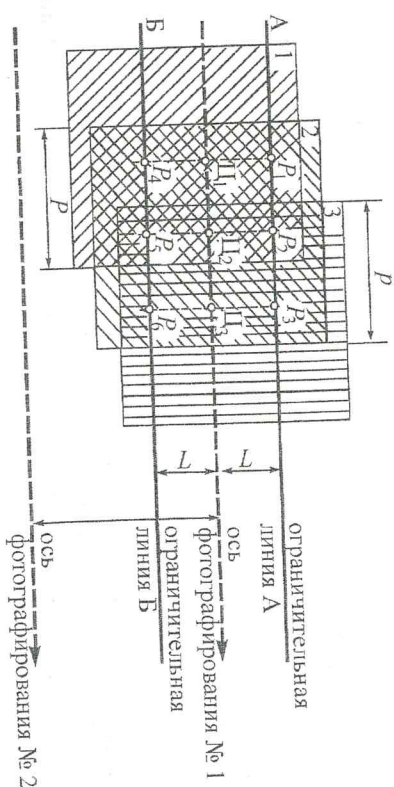


Рис. 1.26. Схема расположения пунктов съемочной сети (опознаков) для воздушной стереофотограмметрической съемки: 1, 2, 3 – номер фотоснимка; p – зона продольного перекрытия (зона стереоэффекта); Π_1, Π_2, Π_3 – центры фотоснимков; P_1, P_6 – пункты съемочной сети

Высоту фотографирования вычисляют по формуле

$$H_{\phi} = f M_c, \quad (1.28)$$

где f – фокусное расстояние фотокамеры, м; M_c – знаменатель

масштаба аэрофотосъемки, зависит от масштаба и вида снимаемого объекта, при съемке открытых горных работ рекомендуется принимать следующие масштабы:

Объекты	Масштаб	Масштаб
съемки	съемки	аэрофотосъемки
Горные выработки	1:1000	1:10000
	1:2000	1:15000
Склад полезного ископаемого	1:500	1:5000
Отвал вскрышных пород	1:5000	1:25000

Положение пунктов съемочного обоснования (опознаков) выбирают следующим образом.

Вычисляют базис фотографирования (B) и расстояние между осями фотографирования (D)

$$B = \frac{100 - p}{100} l M_c; \quad (1.29)$$

$$D = \frac{100 - q}{100} l M_c, \quad (1.30)$$

где p, q — соответственно продольное и поперечное перекрытие фотоснимков; l — размер фотоснимков, m (обычно размер кадра принимают 18×18 или 24×24 см).

Проектируют ось фотографирования (при одномаршрутной съемке ее располагают вдоль продольной оси карьера).

Вдоль оси маршрута отстраивают положение фотоснимков так, чтобы все горные выработки были в зоне двойного перекрытия.

Параллельно оси фотографирования проводят ограничительные линии на расстоянии, вычисляемом по формуле

$$L = 0,4 l \frac{M_{c.o.}}{M_\phi}, \quad (1.31)$$

где $M_{c.o.}$ — знаменатель масштаба снимка для среднего уровня опорных точек; M_ϕ — знаменатель масштаба фотосхемы или плана горных работ (если фотосъемка на участке ранее не выполнялась).

$$M_{c.o.} = M_c \frac{z_{cp.o.} - z_{cp.k.}}{f}, \quad (1.32)$$

где $z_{cp.o.}$ — средняя отметка пунктов опорного обоснования, m ; $z_{cp.k.}$ — высотная отметка среднего уровня карьера, m ; f — фокусное расстояние фотокамеры, m .

Из центров фотоснимков восстанавливают перпендикуляры к ограничительным линиям, получают оптимальное положение пунктов съемочного обоснования (опознаков) $P_1 - P_6$ для стереопары при воздушной съемке (рис. 1.26).

При вынесении в натуру пункты съемочного обоснования могут быть смещены от проектного положения в сторону оси съемочного маршрута (рис. 1.27).

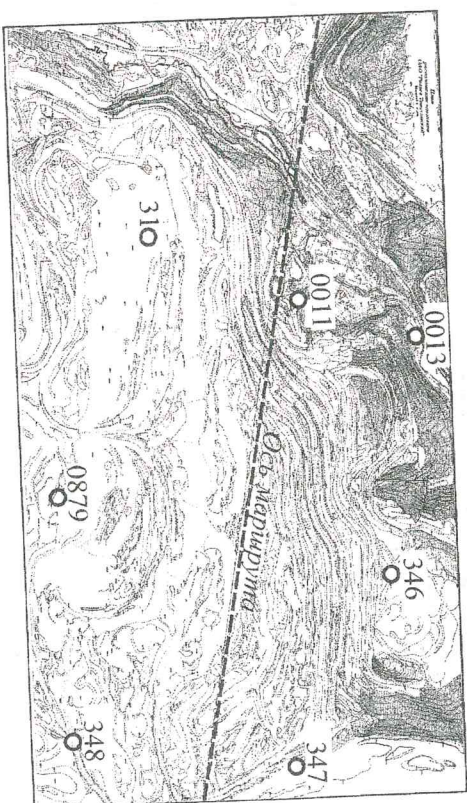


Рис. 1.27. Пример расположения опознаков на ОАО "Разрез Томусинский"

Привязку опознаков к пунктам маркшейдерской опорной сети выполняют способами, принятыми для создания съемочных сетей (подраздел 1.3).

С дополнительной информацией об особенностях создания съемочного обоснования для воздушной съемки можно ознакомиться в Справочнике [12] и другой специальной литературе.

1.5. Типы центров и знаков для закрепления пунктов съёмочной сети

В зависимости от назначения и срока службы пункты съёмочного обоснования в натуре закрепляют постоянными и временными центрами.

Постоянными центрами пунктов съёмочной сети могут служить металлические стержни соответствующей длины, трубы и обделённые рудничные рельсы, забетонированные в скалах и грунтах бетонный монолит расположенные ниже среднего уровня промерзания грунта. В скальных и полускальных сухих породах пункты закрепляют бетонированием стержней (трубок) в шпурь или скважину малого диаметра на глубину 0,2–0,7 м.

При выполнении *тахеометрической съёмки* временными центрами пунктов съёмочной сети, забиваемых непосредственно в грунт, служат заостренные металлические стержни, трубки и деревянные колья длиной 0,2–0,5 м.

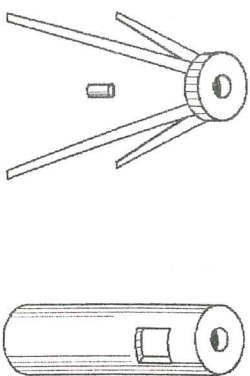


Рис. 1.28. Образцы постоянных знаков на базисных точках

Центры металлических знаков отмечают на верхнем торце крестом или керном, а деревянные – гвоздем, забитым в торец кола.

Для выполнения *наземной стереофотограмметрической съёмки* конечные точки базиса фотографирования закрепляют на длительный срок службы металлическими штативами, образцы подобных знаков показаны на рис. 1.28.

Опорные пункты стереопар маркируют. Марки изготовливают из фанеры (тонких досок, жести) в виде щита прямоугольной формы, прибитого к внешке. Цвет марки должен быть контрастным по отношению к фону, на который она проектируется, поэтому марки следует окрасивать. Размер марки зависит от расстояния между базисом

фотографирования и снимаемым объектом. Например, при расстоянии от базиса до снимаемого объекта 400 м размер марки (0,3×0,1) м; а при расстоянии 3000 м размер марки (2,2×0,7) м.

При закреплении опорных пунктов для *воздушной съёмки* рекомендуется использовать специальный маркировочный знак, представляющий собой усеченную четырехгранную пирамиду, на вершине которой, на высоте около 3 м, помещают крест. Крест изготовливают из половинки леса-кругляка или металлической трубы диаметром 100–300 мм, устанавливаемых выпуклой частью вверх с зазором 30–50 мм. Одна половина креста окрасивается в черный цвет, а другая – в белый, что обеспечивает четкое изображение знака зимой и летом.

1.6. Совершенствование схем и способов построения маршейдерских сетей

1.6.1. Сочетание схем создания съёмочного обоснования

Сочетания схем применяют в зависимости от условий местности и имеющихся инструментов [12], рассмотрим отдельные примеры сочетания схем по созданию съёмочного обоснования.

Определяют пункты съёмочной сети P_1, P_2, P_3 прямой засечкой с пунктов триангуляции T_1, T_2, T_3 и вспомогательной точки N (рис. 1.29).

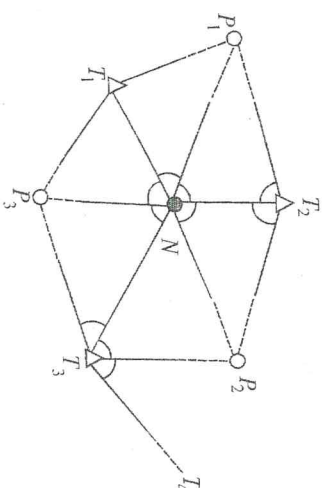


Рис. 1.29. Схема опрделенения координат пунктов съёмочной сети способом прямой засечки по двум исходным пунктам с использованием вспомогательной точки N

Находят группы пунктов съёмочной сети P_1, P_2, P_3 обрат-

ной засечкой по трем пунктам триангуляции T_1, T_2, T_3 с контролем по вспомогательной точке N (рис. 1.30). Координаты вспомогательной точки можно заранее не вычислять, о правильности измеренных направлений судить по их сходимости из решения разных вариантов задач в процессе вычислений.

Определяют вспомогательную точку N комбинационной засечкой. Затем первый пункт съемочного обоснования P_1 — обрательной засечкой с трех пунктов триангуляции T_1, T_2, T_3 и вспомогательный пункт N ; второй пункт съемочного обоснования P_2 — прямой засечкой с пункта триангуляции T_2 , вспомогательного пункта N и первого пункта съемочного обоснования P_1 (рис. 1.31).

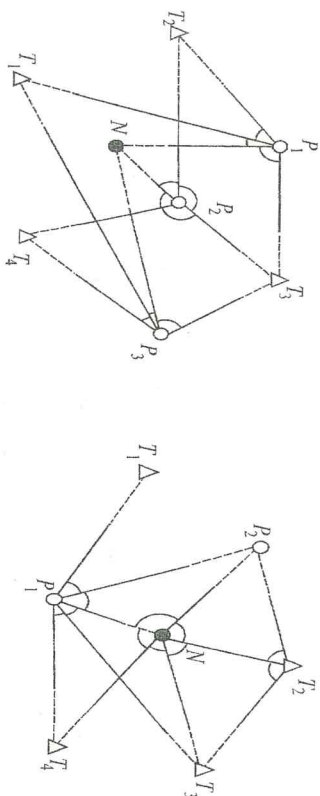


Рис. 1.30. Схема обратной засечки по трем исходным пунктам с контролем по вспомогательной точке N

Рис. 1.31. Схема комбинации прямых и обратных засечек с использованием вспомогательной точки N

1.6.2. Использование фотоснимков для создания аналитической фототриангуляции

Фототриангуляция — это сеть, образованная проектируемыми лучами, соединяющими точки снимаемого объекта с точками пространства, в которых находились объектив аэрофотоаппарата в моменты фотографирования.

Основу всех способов построения фототриангуляции составляют геометрические условия, собственные фототриангу-

ляционной сети. Главных геометрических условий — три, и заключаются они в следующем:

- пункт сети, его изображение на снимке и точка фотографирования снимка лежат на одном проектирующем луче;
- проектирующие лучи одного снимка образуют в точке фотографирования связку лучей;
- соответствующие лучи связок пересекаются в одной точке пространства.

Проектирующие лучи соединяют пункт A (или C) съемочной сети с их изображениями a_1-a_3, c_1-c_3 на снимках и проходят через точки фотографирования S_1-S_3 (рис. 1.32). Проектирующие лучи образуют связки в точках фотографирования S , а соответствующие лучи связок пересекаются в пункте A (или C).

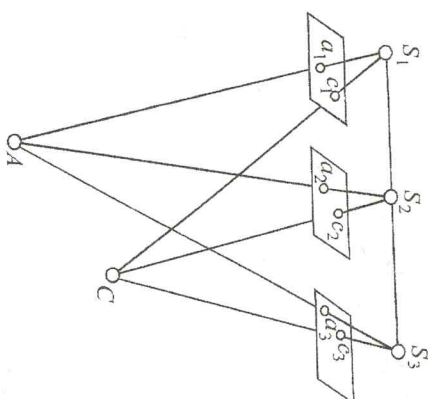


Рис. 1.32. Схема геометрических условий в фототриангуляции:

A, C — пункты съемочной сети на местности, a, c — изображения пунктов местности на снимке; S_1, S_2, S_3 — проектирующие лучи; S_1, S_2, S_3 — положение объектива фотоаппарата в момент фотографирования

Разработанная технология построения аналитической фототриангуляции, которая начала применяться с начала 70-х годов прошлого столетия, и комплекс составленных программ позволяют выполнять расчеты, необходимые для установления точности фототриангуляционных сетей при аэрофотоосъемке горнопромышленных районов.

В результате выполнения аэрофотоосъемки могут быть получены следующие чертежи горной графической документации: маршейдерские планы карьеров; планы складов полезных ископаемых, породных отвалов и хранилищ отходов обогаитель-

ных фабрик; планы земной поверхности территории экономической заинтересованности горных предприятий; планы застроенной части земной поверхности (города, поселка); планы промышленных площадок. В большинстве случаев для получения планов карьеров, складов и отвалов достаточно не более трех параллельных и перекрывающихся съемочных маршрутов. Тогда соответствующие фототриангуляционные сети представляют собой маршрутную сеть или блоки из двух или трех параллельных маршрутов с опорными пунктами, расположенными по краям сети (рис. 1.33).

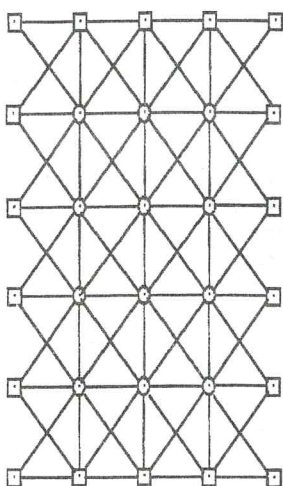


Рис. 1.33. Схема фототриангуляционных сетей на карьерах

Число снимков в маршруте зависит от протяженности объекта съемки. Чтобы повысить точность сетей, целесообразно использовать 60%-ное перекрытие маршрутов, а соединение смежных моделей в маршрутную сеть выполнять не менее чем по шести связующим токам.

Создание фототриангуляционных сетей возможно при выполнении аэрофотоосъемки открытых горных разработок. Такие сети обеспечивают определение координат пунктов с требуемой для маршейдерского съемочного обоснования точностью, при ширине сетей до 5 км и практически не ограниченной длине.

Пункты фототриангуляционной сети могут использоваться в качестве съемочного обоснования для наземных маршейдерских работ и привязки аэрофотоснимков последующих залетов. Поэтому целесообразно включать в фототриангуляционную сеть достаточно большое число пунктов, выбранных с таким расче-

том, чтобы можно было в дальнейшем использовать их как съемочное обоснование. Тогда не потребуется выполнять построение фототриангуляционных сетей при каждой последующей съемке, что позволит существенно экономить труд и время, в особенности при дополнительных съемках.

1.6.3. Создание съемочного обоснования с использованием спутниковых навигационных систем

Краткие сведения о системе GPS

Система GPS состоит из трех основных сегментов (рис. 1.34): космического (созвездие спутников), контроля и слежения (контрольно-измерительный комплекс) и потребителей (пользователей).

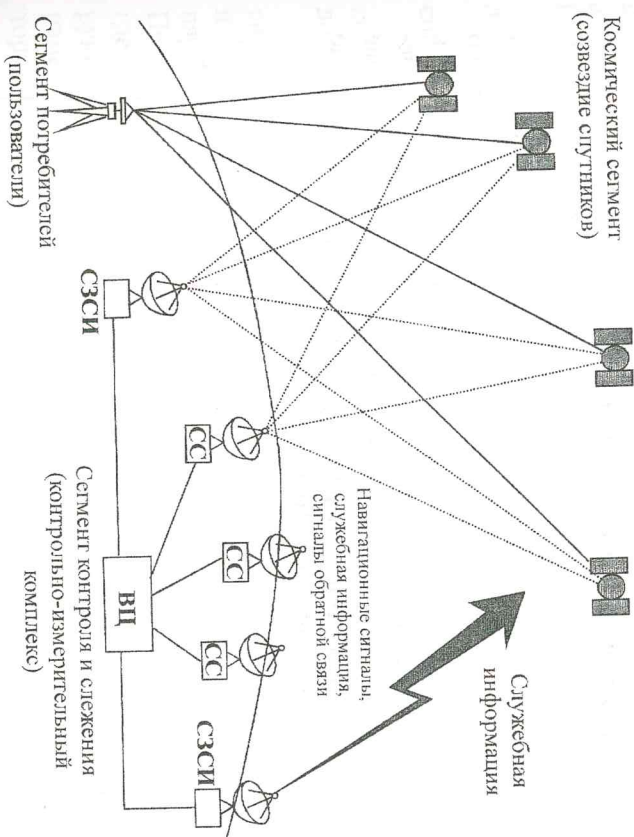


Рис. 1.34. Типовая структура спутниковой навигационной системы

1. *Космический сегмент* представляет собой двадцать четырех искусственных спутника Земли, несущие каждый на своем борту атомные стандарты частоты, задающие очень точную систему измерения времени. Спутники разнесены по шести орбитальным плоскостям, расположенным под углом к экватору в 55° . Спутники передают информацию на двух частотах $L_1 = 1575,42$ МГц и $L_2 = 1227,60$ МГц. Они содержат специальные дальноммерные коды: гражданский C/A (clear/acquisition — полностью доступный) — код на частоте L_1 и военный P (precision — точный) — код на частотах L_1 и L_2 .

2. *Сегмент контроля и слежения* предназначен для управления этой сложной системой. Созданы пункты слежения за спутниками, получающие всю необходимую телеметрическую и измерительную информацию, и пункты управления для расчета и корректировки орбит.

3. *Сегмент потребителей* включает владельцев GPS-приемников, которые принимают радиосигналы от спутников и вычисляют координаты местоположения.

Принцип определения координат основан на традиционном для геодезии способе трилатерации — вычисления координат по измеренным расстояниям до известных пунктов. Пунктами в данном случае считаются спутники, координаты которых измерены с высокой точностью, а расстояния вычисляются на основе измеренной временной задержки прохождения радиосигнала по линии спутник — приемник (рис. 1.35).

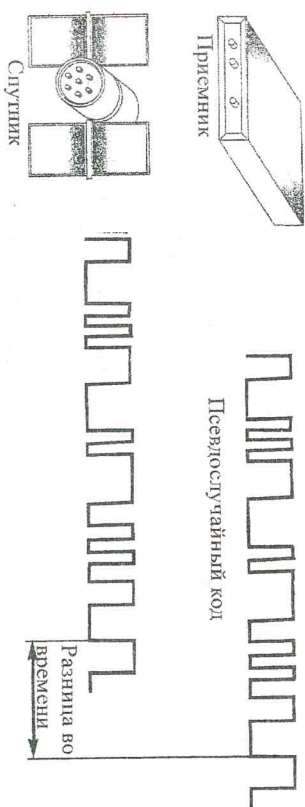


Рис. 1.35. Схема измерения расстояния до спутника

Существуют два способа определения координат: автономный и дифференциальный.

1. *Автономный*. Определение координат с использованием одного приемника с мгновенной точностью не выше 10–15 м. Ошибки, возникающие при подобном способе определения, обусловлены рядом факторов, главным из которых является непрогнозируемое воздействие атмосферы на прохождение радиосигнала.

2. *Дифференциальный*. Использование нескольких (как минимум двух) приемников, один из которых базовый, а остальные передвижные. Сущность способа основана на том, что координаты передвижного приемника исправляются поправками, которые вычисляются с помощью специального алгоритма на основе известных точных координат базового приемника. Эти поправки могут вычисляться в реальном времени и передаваться на передвижные приемники через радиоканал с помощью радиомодемов, а могут вычисляться в камеральных условиях на компьютере. Используются два вида поправок и соответственно два типа дифференциального режима и GPS-приемников, предназначенных для работы в каждом из них:

1. *Фазовые*. Поправки вводят в фазовые измерения радиосигнала. Точность вычисления координат до 2–5 мм.

2. *Кодовые*. Поправки вводят в измерения дальноммерных кодов радиосигнала. Точность вычисления координат от 20–30 см до 1–1,5 м.

Принцип функционирования спутниковой навигационной системы следующий. Наземные станции контрольно-измерительного комплекса проводят измерения навигационных параметров спутников (дальность, доплеровский сдвиг частоты). По линиям связи измерения передаются в вычислительный центр, где на основе полученных измерений определяются и прогнозируются параметры орбит и различные поправки. Поправки и параметры орбит на каждый прогнозируемый момент времени, которые принято называть эфемеридами спутника, по линиям связи передаются на станцию подачи команд. Станция с определенной периодичностью передает их на спутник во время его полета над станцией, где они записываются в блок памяти бортовой ЭВМ. На каждый навигационный спутник передается своя эфе-

меридианная информация, так как параметры орбит спутников и уход бортовых часов различны.

Каждый навигационный спутник непрерывно излучает радиосигналы и передает эфемеридную информацию в реальном масштабе времени. На аппаратуру потребителя принимаются эфемериды, сигналы времени, и измеряются навигационные параметры нескольких спутников. Вычислительное устройство потребителя обрабатывает полученную информацию, рассчитывает его местоположение и вводит поправки к данным инерциальной или других систем навигации.

Определение координат пунктов с использованием GPS-приемников

Для определения координат пунктов при помощи GPS-приемников, как правило, используется статический метод. Название метода означает, что приемники не перемещаются в течение всего наблюдательного интервала. Базовый приемник и приемник, установленный на пункте с неизвестными координатами, одновременно выполняют наблюдения и записывают данные в течение 15 мин – 3 ч. Такая длительность сессии вызвана необходимостью определения целочисленной неоднозначности фаз в начале сессии. Этому способствует и заметное изменение со временем конфигурации спутниковой системы. Одночастотные приемники используются для измерения баз длиной до 10–15 км, а двухчастотные – для баз более 15 км (преимущества двухчастотных приемников заключаются в возможности адекватного моделирования эффекта воздействия ионосферы и меньшей продолжительности наблюдений для достижения заданной точности). После завершения сеансов наблюдений данные, полученные каждым приемником, собираются вместе, вводятся в компьютер и обрабатываются с помощью специальных программ с целью оп-ределения неизвестных координат пунктов.

При использовании фазовых наблюдений обеспечивается следующая точность определения местоположения:

- для двухчастотных приемников:
- в плане – $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км } D$,
- по высоте – $10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км } D$;

– для одночастотных приемников:

- в плане – $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км } D$ (при $D < 10 \text{ км}$),
- $5 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км } D$ (при $D > 10 \text{ км}$),
- по высоте – $10 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км } D$.

Пример¹ создания сети пунктов с помощью двух приемников, один из которых устанавливается на базовой станции (Ref), а другой перемещается по определяемым пунктам сети (2, 3, 5, 6 и 7), приведен на рис. 1.36.

Более подробная информация о навигационных системах и способах создания съемочного обоснования с использованием GPS-приемников приведена в книге [6] и другой специальной литературе.

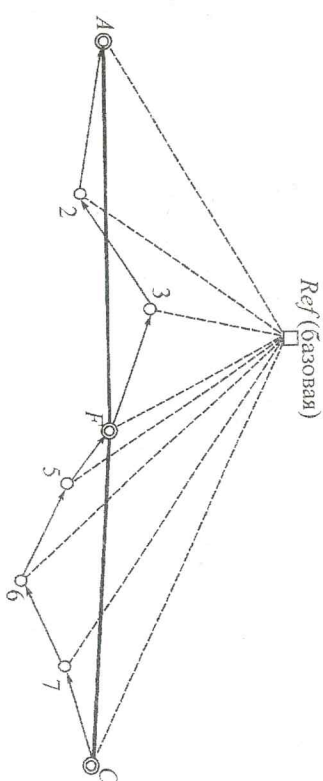


Рис. 1.36. Схема организации полевых работ на пунктах создаваемой сети:

- контрольные измерения между базовой станцией и пунктами сети;
- – измерения в сети определяемых пунктов; ——— – измерения на пунктах A, F и C, ограничивающих замыкающие линии

¹ Пример приведен из экспериментальных исследований, выполненных Е. А. Серетиным.

2. МАРКШЕЙДЕРСКАЯ СЪЕМКА КАРЬЕРОВ

2.1. Общие требования к маркшейдерской съемке горных выработок при ОРПИ

Детальная плано-высотная съемка открытых горных выработок, а также других объектов карьера и прилегающей территории месторождения полезного ископаемого является одной из важнейших задач маркшейдера. Она осуществляется периодически в целях графического изображения и систематического учета работ, проводимых на всех этапах жизненного цикла горнодобывающего предприятия.

При ведении открытых горных работ *объектами* съемок являются:

– *на поверхности*: рельеф и ситуация, устья разведочных и дренажных скважин, транспортные сооружения, ЛЭП, линии связи, здания и сооружения на промышленной площадке, водопольные каналы, водоводы, пульповоды, постоянные и временные породные отвалы, склады полезного ископаемого, производительного почвенного слоя, естественные обнажения полезного ископаемого, места взятия проб и др.;

– *в горных выработках*: верхние и нижние бровки уступов, капитальных и разрезных траншей и съездов, автомобильные и железные дороги, конвейерные линии, трубопроводы, ЛЭП, выход полезных ископаемых на горизонт, зоны тектонических нарушений, устья и трассы разведочных, взрывных, дренажных скважин и выработок, контакты пород вскрыши и полезного ископаемого, границы опасных зон (очаги пожаров, участки оползней, обрушений, затопленные горные выработки).

Назначение съемок: составление горно-графической документации, определение объемов горных и строительных работ, геометризация условий залегания полезных ископаемых, обеспечение безопасных условий ведения горных работ.

Виды съемок: горизонтальная – определяют координаты x и y (например, съемка контура дороги); вертикальная – определяют высотные отметки z (например, съемка профиля дороги); комбинированная – определяют три координаты x, y, z объектов.

Периодичность съемок устанавливается исходя из производственной необходимости, но не реже одного раза в квартал, а при добыче общераспространенных полезных ископаемых – не реже одного раза в шесть месяцев. Для определения объемов горных и строительных работ в целях оплаты работ за экскавацию и транспортирование горной массы съемку выполняют один раз в месяц, на первое число. В целях геометризации месторождения полезного ископаемого выполняют съемку выходов пласта на горизонт при зачистке рабочей площадки. Для обеспечения безопасных условий ведения горных работ – при проявлении опасных инженерно-геологических условий (оползней, обрушений, и др.).

Точность съемок объектов открытых горных работ характеризуется следующими показателями:

– *расхождение контуров* в плане из двух независимых съемок не должно превышать 1 мм при случайном характере отклонений;

– *расхождение высотных отметок* из двух определений не должно превышать 0,4 м;

– *погрешность* несения пикета на план допускается не более 0,5 мм;

– при съемке оптическими приборами *расстояние между пикетами* (табл. 2.1) и *от инструмента до снимаемого объекта* (табл. 2.2) зависят от объекта и масштаба съемки.

Таблица 2.1

Расстояние между пикетами²

Масштаб съемки	Склад полезного ископаемого	Взрывной блок	Объекты съемки		Отвал	
			Карьер	Карьер	Отвал	Отвал
			нечеткий контур	четкий контур	нечеткий контур	четкий контур
1:500	6			20	30	
1:1000	10	10		30	40	
1:2000		20		40		
1:5000					50	100

² Расстояние между пикетами (густота пикетов) дано в метрах.

Таблица 2.2
Расстояние от инструмента до снимаемого объекта³

Мас-штаб съемки	Объекты съемки				
	уголь-ный склад	здания и соору-жения	горные выработки	вскрышной отвал	
1:500	60		$V = 20^\circ$ $V = 25^\circ$	$V = 20^\circ$ $V = 25^\circ$	
1:1000	100	80	150 200		
1:2000		100	200 250		
1:5000		150		300	350

V — увеличение зрительной трубы тахеометра.

При выполнении съемок электронным тахеометром предельное *расстояние* от прибора до отражателя или снимаемого объекта (при выполнении съемки в безотражательном режиме) устанавливается исходя из соответствующих технических характеристик прибора и условий видимости. Если расстояния до пикетов больше указанных в табл. 2.2, то их наносят на план по координатам. При этом необходимо обеспечивать требования к точности такие, как рекомендованы Инструкцией [8].

2.2. Способы съемок объектов открытых горных работ

2.2.1. Ориентированный способ съемки

Ориентированный способ съемки применяют при небольшой (до 20 м) глубине горных работ. Съемочное обоснование в этом случае создают в виде эксплуатационной сетки или теодолитного хода.

Инструменты: экер, рулетка.

Между пунктами съемочной сети P_1 и P_2 натягивают шнур, отмеряют расстояние L_1 , равное густоте пикетов (табл. 2.1). Из конца отрезка L_1 экером восстанавливают перпендикуляр до снимаемого объекта и замеряют расстояние L_2 , получают пикет ПК₁. Аналогично определяют положение следующих пикетов.

³ Расстояние от инструмента до снимаемого объекта дано в метрах.

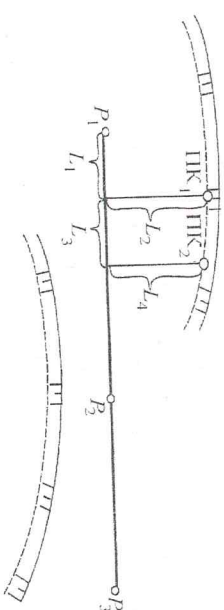


Рис. 2.1. Схема ориентированного способа съемки

Погрешность положения пикета определяют по формуле

$$m_{\text{пк}} = \frac{m_{\text{р}}}{\rho} L, \quad (2.1)$$

где $m_{\text{р}}$ — погрешность построения перпендикуляра экером; $m_{\text{р}} = \pm 7,5''$; $\rho = 3438''$; L — длина ординаты, м.

Достоинства: простота полевых работ, высокая производительность, возможность выполнения полевых работ при любых погодных условиях.

Недостатки: ограниченные условия применения (равнинный рельеф), расстояние от пункта съемочной сети P_1 не должно превышать длину мерного прибора (30–50 м).

2.2.2. Тахеометрический способ съемки

Тахеометрический способ съемки является универсальным и может применяться в любых условиях. В основе тахеометрического способа съемки используется возможность получения плано-высотного положения точки одним визированием зрительной трубы тахеометра.

Инструменты: тахеометр, штатив, рейка, рулетка (для измерения высоты инструмента).

При тахеометрической съемке карьеров оптическим тахеометром работы выполняют в следующем порядке: по лимбу установивают отсчет близкий к нулю и визируют на пункт маркированной опорной сети (1). Открепляют алидаду, наводят зрительную трубу на дальнюю рейку, которую устанавливают на характерные точки объекта (рис. 2.2) через расстояние равное

густоте пикетов (табл. 2.1) и, наведя вертикальную нить на середину рейки, а начальную кривую на высоту инструмента, последовательно берут отсчет по горизонтальному кругу, по кривой превышений и кривой горизонтальных проложений (рис. 2.3).

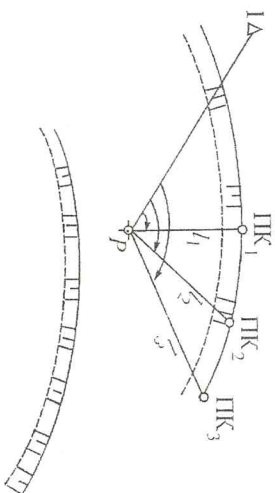


Рис. 2.2. Схема тахеометрического способа съемки

Пикеты набирают в зависимости от объекта и масштаба съемки через 6–100 м (табл. 2.1).

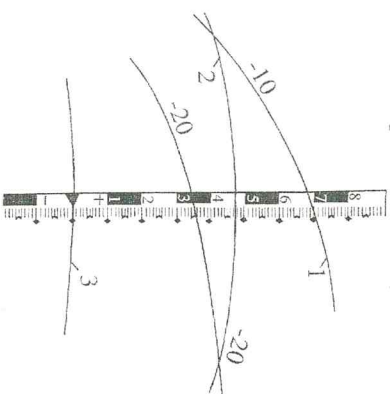


Рис. 2.3. Отсчеты по рейке тахеометра Дабла 010А:

1 – кривые превышений;
2 – кривая расстояний;
3 – начальная кривая

$$\Delta l = \frac{60''}{rV} d, \quad (2.2)$$

где $60''$, V – соответственно разрешающая способность и увеличение зрительной трубы тахеометра; d – расстояние (горизонтальное проложение) от инструмента до пикета.

Поскольку отсчеты берут по двум нитям сетки, то при коэффициенте дальности $k = 100$ средняя квадратическая погрешность определения расстояния составит

$$m_d = \frac{\Delta \sqrt{2}}{3} = \frac{60 \sqrt{2}}{3rV} = \frac{28'' k}{rV}. \quad (2.3)$$

Относительная погрешность измерения расстояния в зависимости от увеличения зрительной трубы тахеометра составит: при $V = 15^\times$ $m_d/d = 1:356$; при $V = 20^\times$ $m_d/d = 1:490$; при $V = 25^\times$ $m_d/d = 1:620$.

Линейную погрешность нанесения (построения) пикета на план вычисляют по формуле

$$m_{\text{пк}} = \frac{m}{r} \beta d, \quad (2.4)$$

где m_β – угловая погрешность построения угла транспортиром.

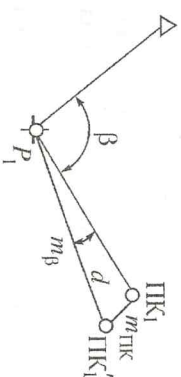


Рис. 2.4. Схема к определению погрешности нанесения пикета на план

Пример: при $m_\beta = 30'$, $r = 3438'$, $d = 200$ м, $m_{\text{пк}} = 1,74$ м.

Погрешность определения превышения пикета равна

$$m_{\text{пк}}^2 = m_d^2 \lg^2 \delta + \frac{m_\delta^2 d^2}{\cos^4 \delta r^2}. \quad (2.5)$$

При малых углах наклона (при визировании на высоту инструмента) первое слагаемое стремится к нулю, тогда формула примет вид:

$$m_{\text{пк}} = \pm \sqrt{\frac{m_\delta^2 d^2}{\cos^4 \delta r^2}}. \quad (2.6)$$

Пример: при $\delta = 2^\circ$, $d = 100$ м, $m_\delta = 30''$, $m_h = 0,02$ м.

В настоящее время все активнее при производстве тахеометрической съемки используют электронные тахеометры, объе-

дисяющие в себе возможности нескольких приборов: электронного теодолита, электронного дальномера и калькулятора. Прибор снабжен памятью для сохранения результатов полевых измерений. Все результаты измерений (отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругу, измеренное расстояние) и вычислений (горизонтальное проложение, превышение, координаты и др.) вычисляются на экране. Электронный тахеометр может измерять расстояние до отражателя или до визируемого объекта (безотражательные тахеометры). Накопленные в памяти инструмента данные можно передавать в компьютер для дальнейшей обработки или анализа.

По сравнению с оптическим прибором электронные тахеометры имеют существенные преимущества:

- увеличивается производительность полевых работ на 30-40 %;
- сокращается время на камеральные работы в 1,5-2 раза, за счет стандартного интерфейсного порта информации по результатам измерений передается сразу в компьютер;
- исключаются ошибки исполнителя, все результаты хранятся в памяти прибора, поэтому можно отказаться от ведения полевого журнала;
- не нужен калькулятор, за счет встроенного программного обеспечения многие задачи (вычисление координат обратной засечки, координат пикетов, разбивочных элементов) решаются в полевых условиях;
- повышается безопасность работ в опасных зонах за счет выполнения съемки в безотражательном режиме.

Тахеометрическую съемку с использованием электронного тахеометра можно выполнять двумя методами: линейно-угловых и координатных измерений.

Метод линейно-угловых измерений (рис. 2.5) заключается в следующем: инструмент устанавливается на пункте с известными координатами, по горизонтальному кругу фиксируют отсчет "0" и ориентируют прибор на другой пункт с известными координатами BS, затем визируют на определяемый пикет (точка съемки) и выполняют линейно-угловые измерения, которые записывают в рабочий файл. Используя стандартный интерфейсный порт, информацию из рабочего файла передают в компьютер для последую-

щего вычисления в специальной программе координат пикетов.

Метод координатных измерений (рис. 2.6) предполагает предварительное занесение в память тахеометра каталога координат пунктов опорного и съемочного обоснования. На местности тахеометр устанавливают на пункт с известными координатами, выбирают из каталога координаты этого пункта. Ориентируют прибор на другой пункт с известными координатами, также выбирая из каталога его координаты. Используя встроенное программное обеспечение, рассчитывают дирекционный угол на ориентируемый пункт, затем визируют на определяемый пикет и выполняют линейно-угловые измерения. Пространственные координаты пикета вычисляются автоматически на основе предварительно введенных координат станции, пункта ориентирования, высоты инструмента i , высоты отражателя V , установленного на пикете, и линейно-угловых измерений. Координаты пикетов записывают в рабочий файл, а затем передают в компьютер для последующей обработки.

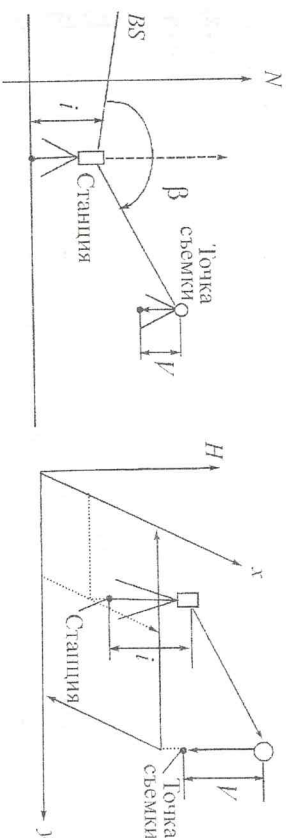


Рис. 2.5. Схема линейно-угловых измерений

Рис. 2.6. Схема координатных измерений

2.2.3. Низземная стереофотограмметрическая съемка

Стереофотограмметрия позволяет определять и графически изображать форму, размеры и пространственное положение предметов, земной поверхности, карьеров и приисков по фотографическим снимкам.

Фотографическое изображение предмета или участка мест-

ности на светочувствительном слое пластины или пленки отнестись к перспективной проекции, в которой мы привыкли видеть окружающий нас мир и предметы.

Бинокулярное рассматривание двух снимков, содержащих изображение одного и того же предмета, объекта, полученных с двух концов базиса фотоаппарата, т. е. при различных положениях объектива фотоаппарата, воссоздает объемное восприятие соответствующего предмета, участка местности или карьера — стереомодель.

При камеральной обработке на специальных стереоскопических приборах перспективное фотоизображение преобразуют в план.

Приборы:

— для полевых работ (фотогеодолит Рhotheo 19/1318 или универсальная фотограмметрическая камера UМК 10/1318, марка, два штатива, базисная рейка, комплект фотопластин);

— для камеральных работ (один из измерительных стереоскопических приборов: стереокомпаратор Steko, стереоавтограф 1318 или технокарт).

Сущность съемки: некоторый участок карьера последовательно фотографируется фотогеодолитом (фотокамерой) с двух концов S_1 и S_2 базиса съемки (рис. 2.7). Положение любой точки карьера определяется прямой пространственной фотограмметрической засечкой, образуемой проектируемыми лучами с левой и правой точек базиса. Величина B представляет собой горизонтальную проекцию $S_1 S_2$ базиса фотоаппаратирования.

Фотообъекту выполняются в такой последовательности: фотогеодолит устанавливается на левую точку базиса S_1 (рис. 2.7, б), на правую точку устанавливается марка. Приводят прибор в рабочее положение и измеряют контрольный угол. По отсчетному устройству устанавливают отсчет близкий к нулю и визируют на марку. По отсчетному устройству откладывают угол 90° и получают направление главного луча фотообъекта $у_{\phi}$. Через матовое стекло рассматривают объект фотоаппаратирования и перемещают объектив фотогеодолита в вертикальной плоскости так, чтобы объект разместился в кадре (рис. 2.7, а). Устанавливают кассету и производят фотоаппаратирование объекта. Аналогично выполняют съемку с правой точки базиса S_2 (рис. 2.7, б).

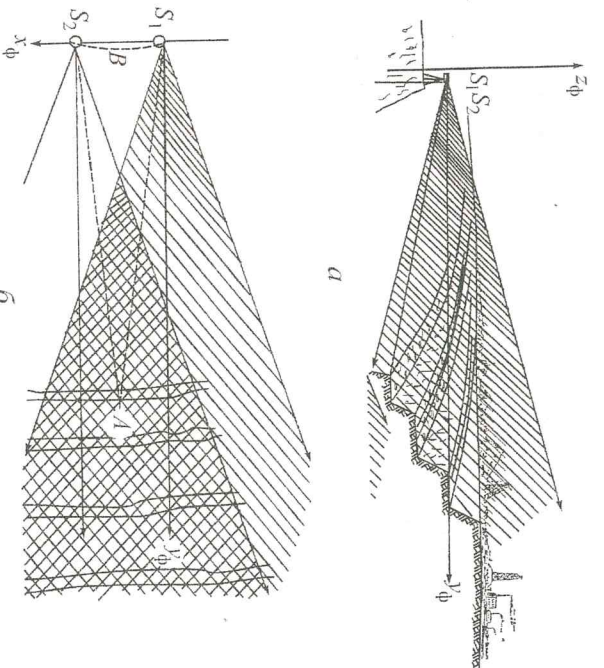


Рис. 2.7. Схема наземной стереофотограмметрической съемки: а — профиль; б — план

Для определения координат местности по фотоснимкам необходимо найти положение связей проектируемых лучей, которое они занимали в момент фотоаппаратирования. Величины, определяющие положение связей, называют элементами ориентирования фотоснимка. Различают элементы внутреннего (положение задней узловой точки объектива относительно фотоснимка) и внешнего положения (положение фотоснимков стереопары в геодезической системе координат). Элементы внешнего ориентирования показаны на рис. 2.8.

Достоинства: небольшие затраты времени и высокая производительность труда при выполнении полевых и камеральных работ, высокая точность, возможность съемки труднодоступных участков и сплошной рисовки контуров на плане, сохранение ситуации на длительный срок, высокая культура работ.

Недостатки: наличие мертвых зон, высокая стоимость обводования, необходимо иметь большие площади для выполнения камеральных работ, полевые и камеральные работы могут выполняться специально подготовленным персоналом, невозможно получить качественные снимки при запыленности и задымленности карьера.

Более подробную информацию о наземной стереофотограмметрической съемке можно прочитать в книге [13].

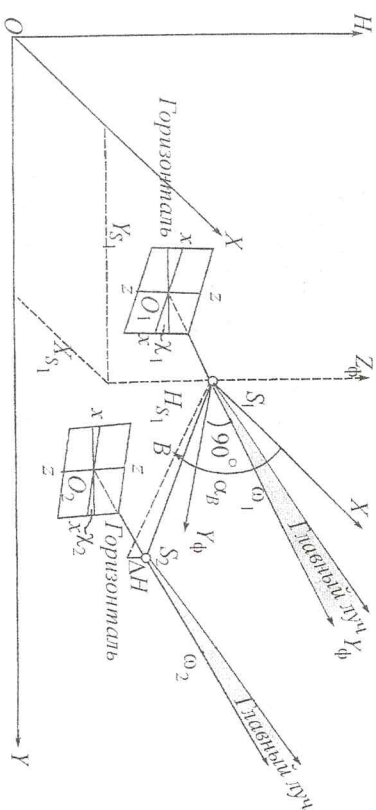


Рис. 2.8. Элементы внешнего ориентирования стереопары:

X_{S1} ; Y_{S1} ; H_{S1} — координаты левого конца базиса фотографирования; ω_1 , ω_2 — углы наклона главного луча соответственно левого и правого фотоснимков; χ_1 , χ_2 — углы поворота соответственно левого и правого фотоснимков в их плоскостях; α_B — дирекционный угол базиса фотографирования; ΔH — превышение правого конца базиса фотографирования над левым

2.2.4. Аэрофотоосъемка

Аэрофотоосъемкой (или воздушным фотографированием) называют совокупность работ для получения аэроснимков местности (рис. 2.9). Она состоит из аэрофотоосъемочных, полевых фотонаборных и полевых фотограмметрических работ.

Аэрофотоосъемочные работы включают: задание технических условий полета и фотографирования, аэронавигационное руководство полетом и фотографирование согласно техническому проекту.

По количеству и расположению аэрофотоснимков согласно ГОСТ 23935-79 аэрофотоосъемка подразделяется на: *кадровую* (одинарную), при которой получают один или несколько неперекрывающихся между собой аэрофотоснимков; *маршрутную*, при которой получают взаимно перекрывающиеся аэрофотоснимки полосы местности вдоль линии полета летательного аппарата; *многомаршрутную* (площадную), при которой получают взаимно перекрывающиеся аэрофотоснимки местности путем прокладки прямолинейных перекрывающихся между собой маршрутов.

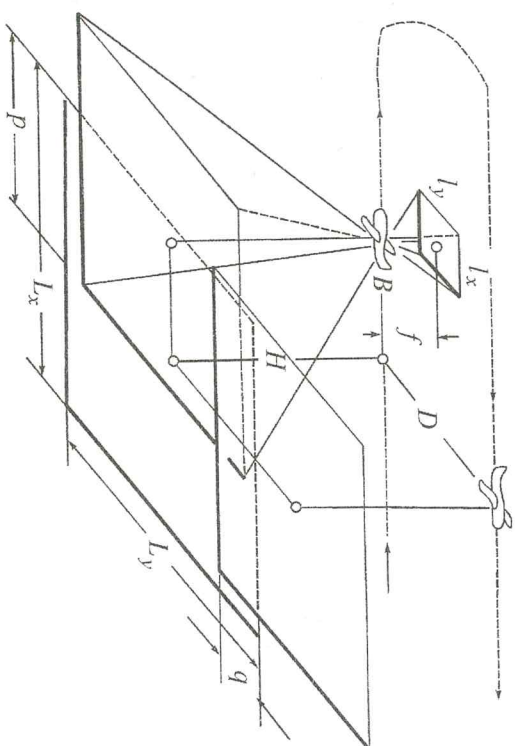


Рис. 2.9. Общий вид воздушной съемки

По масштабу аэрофотоосъемку условно подразделяют на крупномасштабную (от 1:1000 до 1:10000), среднемасштабную (мельче 1:10000 до 1:50000), мелкомасштабную (мельче 1:50000). Масштаб снимка выбирают в зависимости от масштаба создаваемой карты, способа ее составления и физико-географических условий района картографирования. Если фотографирование местности выполняют для создания контурных планов, то для уменьшения искажений из-за влияния рельефа местности аэрофотоосъемку целесообразно выполнять со значительных высот аэрофотоаппаратом с большим фокусным расстоянием

ем. В случаях, когда рельеф предполагают изображать в камеральных условиях на стереофотограмметрических приборах, возможность целесообразно фотографировать с меньшей высоты аэрофотоаппаратом с небольшим фокусным расстоянием.

Аэрофото съемку площади выполняют так, чтобы один и тот же участок местности изображался на смежных снимках, т. е. выполнят со взаимным перекрытием смежных аэронегативов одного маршрута, называемым продольным перекрытием P , и со взаимным перекрытием аэронегативов смежных маршрутов, называемым поперечным перекрытием q (рис. 2.10).

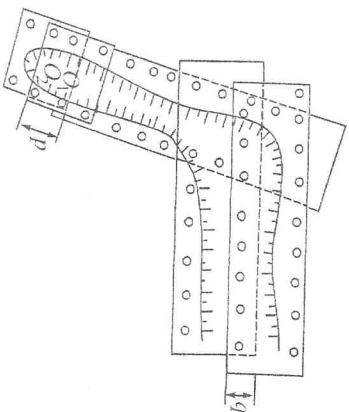


Рис. 2.10. Схема расположения фотоснимков с продольным и поперечным перекрытием маршрутов

Аэрофото съемку выполняют в ясные безоблачные дни при хороших атмосферных условиях. Маршруты должны иметь направление запад-восток или север-юг, быть непрерывными и параллельными границам съемочных участков, совпадающим и с рамками границей топографических карт. Оси крайних маршрутов проектируют по границам съемочных участков. Маршруты должны продолжаться за границы съемочного участка на одной базе фотографирования при $P = 60\%$, на два и четыре базиса при расчетном перекрытии 80 и 90 % соответственно.

Приборы:

— для полевых работ (аэрофотокамера, фотоустановка — подвеска для фотокамеры, командный или навигационный прибор, высотомер);

— для камеральных работ используют один из следующих приборов: стереометрограф, стереодегитайзер SD2000 (SD3000) или цифровую станцию.

Подготовка исходных данных

Составляют в двух экземплярах фотоплан (план) масштаба 1:10000–25000, на который наносят оси маршрута съемки и границы участка съемки. Снимают графически с плана: азимут оси маршрута с точностью до 1° и высоту фотографирования с точностью до 10 м. После чего производят предварительный зачет, т. е. выполняют пробную съемку. По результатам предварительной фотосъемки в зонах тройного перекрытия намечают расположение опознаков и снимают с плана их предварительные координаты. По координатам выходят в район (тармин) и производят реконсцировку местности для установки опознаков.

После набора расчетной высоты фотографирования выполняют пробный полет над объектами съемки без фотографирования. При визуальном обнаружении центров фотоснимков на местности приводят прибор в рабочее положение (горизонтируют). Проверяют по компасу азимут оси и производят фотографирование над центром первого фотоснимка. Последующие снимки выполняют в автоматическом режиме по длине базиса и скорости самолета.

Достоинства: сохранение ситуации на длительный срок, отсутствие мертвых зон, высокая стоимость, зависимость от погодных условий.

Недостатки: высокая стоимость, зависимость от погодных условий.

2.2.5. Съемка с использованием навигационных приборов

Применение современных навигационных приборов GPS-приемников для выполнения съемок объектов открытых горных работ значительно сокращает время и трудоемкость работ.

Работа GPS-приемников основана на определении расстояний до спутников, которое вычисляют через время, за которое радиосигнал от спутника доходит до приемника на Земле. Главной трудностью при измерении времени распространения радиосигнала является точное выделение момента времени, в который сигнал передан со спутника. Для этого спутники и приемники синхронизированы так, чтобы они генерировали один и тот же бинарный (двоичный) код точно в одно и то же время. Сравнива-

ют одинаковые коды от спутника и приемника, по величине сдвига одного кода по отношению к другому определяют время прохождения сигнала расстоянию от спутника до приемника (рис. 1.34).

В зависимости от решаемых задач и требований к точности измерений применяют различные методы съемок с использованием GPS-приемников.

Быстрая статическая съемка

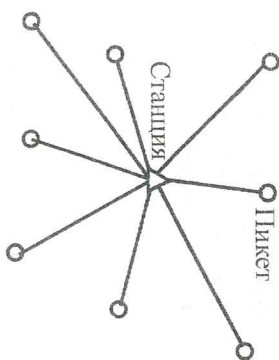


Рис. 2.11. Схема быстрой статической съемки

при наблюдении спутников с благоприятным взаимным геометрическим положением.

Кинематический метод "стой — иди" (Stop — and — Go Kinematic Positioning)

Кинематический метод "стой — иди" позволяет быстро получить положения пунктов. Метод требует выполнения короткой процедуры инициализации с целью определения целочисленных неоднозначностей фаз. После этого опорный приемник продолжает непрерывно наблюдать на пункте с известными координатами, второй приемник перевозят (во включенном состоянии) на первый определяемый пункт, где вновь наблюдают 1 мин. Затем его перемещают по одному разу на все остальные определяемые пункты (рис. 2.12).

Все определения вы-

полняются относительно одного из пунктов (координаты которого найдены заранее), на котором постоянно находится один из приемников, второй приемник последовательно устанавливается в характерных точках снимаемого объекта (рис. 2.11). Этот вид съемки увеличивает производительность измерений на коротких линиях и

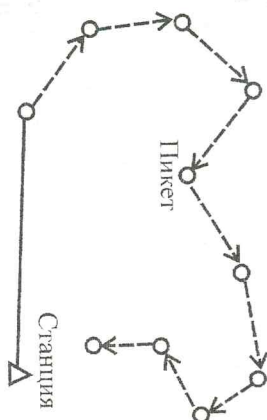


Рис. 2.12. Схема съемки методом Stop — and — Go Kinematic Positioning

ределяемый пункт или вновь провести процедуру инициализации. Во избежание этого лучше всего обеспечить возможность наблюдения одновременно пяти или более спутников.

Метод эффективен при выполнении топографической съемки, когда за короткое время необходимо определить координаты большого числа точек при построении цифровых моделей рельефа, определении местоположения объектов местности, имеющих форму ломаной линии (трубопроводы, дороги и пр.).

Кинематический метод со статической инициализацией (Kinematic with Static Initialization)

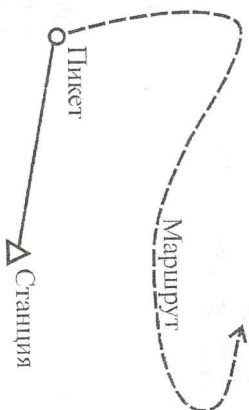


Рис. 2.13. Схема съемки методом Kinematic with Static Initialization

после чего приемник перемещают в начальную точку маршрута движения и производят там наблюдения в течение нескольких минут. Далее подвижная платформа с приемником начинает движение по маршруту (рис. 2.13).

Недостаток метода состоит в том, что необходимо непрерывно

(и даже во время движения) наблюдать не менее четырех спутников одновременно. Если число наблюдаемых спутников падает до трех хотя бы на миг, необходимо вернуться на последний успешно посещенный оп-

Кинематический метод со статической инициализацией

метод со статической инициализацией очень похож на предыдущий метод ("стой — иди").

Точно так же на базовом пункте с известными координатами производят процедуру инициализации, затем подвиж-

GPS-измерения выполняются непрерывно во время движения с интервалом 1 с. Точностные параметры метода те же, что и у "Stop – and – Go". Чаще всего применяется для получения координат линейных объектов типа дорог, рек и т. д.

Кинематический метод с инициализацией "на ходу"
(*Kinematic with On – the – Fly Initialization*)

Кинематический метод с инициализацией "на ходу" не требует для инициализации размещения подвижного приемника на базовой станции – эта процедура выполняется непосредственно при движении транспортного средства по маршруту (рис. 2.14).

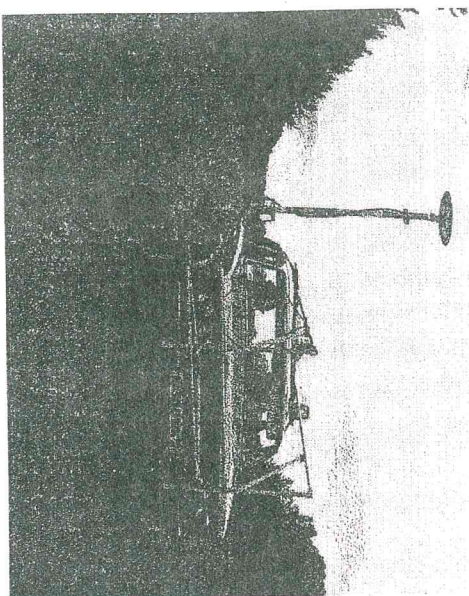


Рис. 2.14. Съёмка методом Kinematic with On – the – Fly Initialization

Кроме того, если по какой-либо причине произошел срыв наблюдений (например, из-за проезда под железнодорожным мостом), процесс инициализации производится вновь без останова движения. Параметры, характеризующие точность метода, и сфера его использования не отличаются от других кинематических методов.

Более подробно с методикой съемки с использованием навигационных приборов (GPS-приемников) можно познакомиться в специальной литературе (Инструкция по работе с прибором).

2.2.6. Основные принципы съемки лазерным сканером

Метод лазерного сканирования заключается в дистанционном сборе пространственной информации с помощью специализированных приборов – наземных лазерных сканеров.

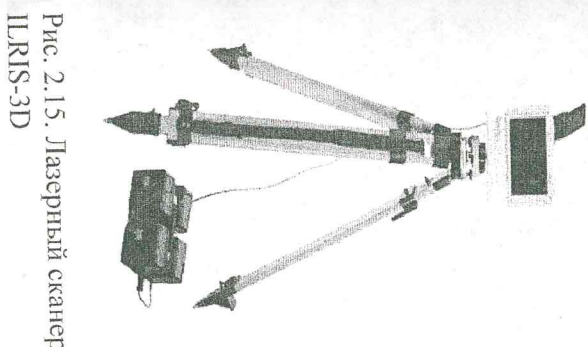


Рис. 2.15. Лазерный сканер ILRIS-3D

Углы в данном случае не измеряют, а задаются поворотом зеркала, одновременно регистрируясь запоминающим устройством.

Суть метода состоит в практически мгновенном получении координат сотен тысяч точек, расположенных на сканируемом объекте. Для этого не нужен непосредственный доступ к объекту, не нужны отражатели или другие приспособления, необходима лишь прямая видимость. Совокупность полученных точек, образуемая "облаком точек" (рис. 2.16), может быть использована для трехмерного моделирования либо для различных пространственных измерений (расстояния, величины деформаций и пр.).

Плотность расположения точек на объекте характеризуется величинами от долей миллиметра до единиц метров и может быть задана в зависимости от расстояния до объекта и требуемых результатов. Облака точек, полученных с разных сканов, сшиваются в единую точечную модель. Сшивку сканов производят

Принцип работы лазерного сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра и заключается в измерении времени прохождения лазерного луча от излучателя до отражающей поверхности и обратно до приемника. Путем деления этого времени на скорость прохождения лазерного луча определяется расстояние до объекта. Измерения происходят со скоростью нескольких сотен тысяч точек в секунду. Углы в данном случае не измеряют, а задаются поворотом зеркала, одновременно регистрируясь запоминающим устройством.

по характерным элементам объекта либо по опорным точкам, координаты которых определены заранее.

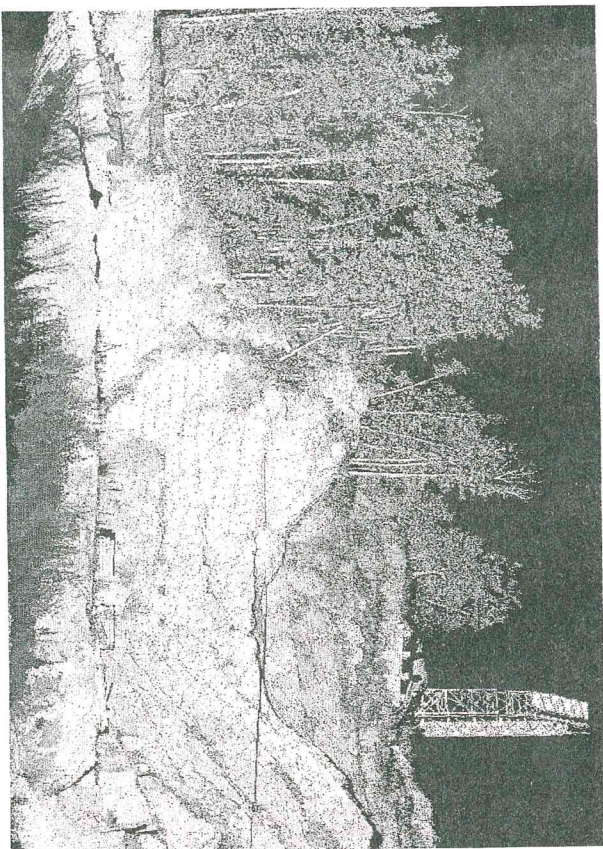


Рис. 2.16. Облако точек на скане

Для трансформации единичного облака точек (точечной модели) в заданную систему координат производят привязку к пунктам геодезической сети (государственной либо локальной). Такую привязку осуществляют любым известным геодезическим методом. Для трансформации результатов сканирования в заданную систему координат на объект необходимо минимум три точки с известными координатами. Такие точки называют опорными (рис. 2.17).

Векторизацию и моделирование осуществляют в специализированном программном обеспечении либо в САД и ГИС-приложениях. Используя такую модель, возможно создание любых сечений, моделей отдельно взятых элементов и измерение любых геометрических параметров.

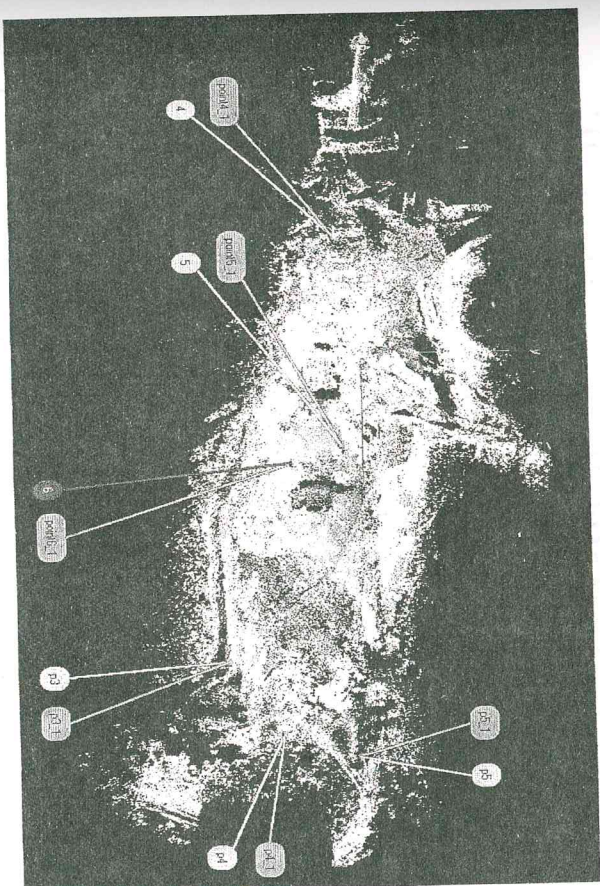


Рис. 2.17. Схема расположения опорных точек:

в прямоугольниках указаны номера точек, координаты которых определены геодезическими методами, в кружках — на облаке

Правильные поверхности описываются примитивами (шар, цилиндр, конус, тела вращения и выдавливания), по нерегулярным поверхностям выстраивается сетка треугольников, служащая в дальнейшем каркасом для полигональной модели поверхности.

Более подробно с методикой съемки с использованием лазерных сканеров можно познакомиться в специальной литературе (Инструкция по работе с прибором).

3. МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЬЕРОВ

Строительство и реконструкцию карьеров выполняют на основании утвержденной проектной документации, прошедшей в установленном порядке государственную экспертизу. Маркшейдерско-геодезическое обеспечение при строительстве и реконструкции карьеров состоит в вынесении в натуру геометрических элементов проекта, а также контроле хода строительства. В зависимости от конструктивных особенностей и назначения объектов строительства руководствуются государственными стандартами системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве, ведомственными нормативными документами, документами органов государственного надзора, согласованными в установленном порядке, а также строительными нормами и правилами (СНиП).

3.1. Общие сведения о строительных нормах и правилах

3.1.1. Классификация строительных норм и правил

Классификатор строительных норм и правил (СНиП) определяет состав и шифр (обозначение). Шифр состоит из букв "СНиП", номера части (одна цифра), номера группы (две цифры) и номера документа (две цифры), отделенных друг от друга точками; две последние цифры, присоединенные через тире, обозначают две последние цифры года утверждения документа. Номера документов присваиваются в порядке регистрации сквозные в пределах каждой группы или в соответствии с разработанным перечнем документов данной группы. Классификатор СНиП устанавливает разделение строительных норм и правил на шесть частей, каждая из которых делится на группы:

1. Организация, управление, экономика.
2. Нормы проектирования.
3. Организация, производство и приемка работ.
4. Сметные нормы.
5. Нормы затрат материальных и трудовых ресурсов.
6. Эксплуатация и ремонт зданий, сооружений и конструкций.

3.1.2. Основные требования к геодезическим работам в строительстве

При строительстве новых, расширении, реконструкции и техническом перевооружении действующих предприятий, зданий и сооружений руководствуются СНиП 3.01.03-84 "Геодезические работы в строительстве" [17]. В этом СНиПе изложены *правила производства и приемки* (номер части — 3) геодезических работ (номер группы — 01) при строительстве зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, документ зарегистрирован в 1984 г., порядковый номер регистрации — 03.

Маркшейдерская служба горного предприятия осуществляет разбивочные работы по вынесению геометрических элементов проекта в натуру, контроль хода строительства и оценку соответствия выполненных работ требованиям СНиП (отклонений фактического положения построенного объекта проектным значениям).

Перенесению проекта в натуру предшествуют работы по созданию планово-высотной сети; составлению разбивочных схем и чертежей; привязке главных точек и осей зданий, сооружений и выработок к пунктам геодезического обоснования; предельно точности вынесения в натуру основных геометрических элементов сооружений и трасс — все эти вопросы следует отражать в проекте производства маркшейдерско-геодезических работ. Основным документом, определяющим требования к выполнению маркшейдерско-геодезических работ, является СНиП 3.01.03-84 "Геодезические работы в строительстве". В этом документе приведены требования к созданию опорного обоснования, которое в строительстве называют *геодезической разбивочной основой для строительства* (*разбивочная сеть*). Построение геодезической разбивочной основы для строительства производят методами триангуляции, полигонометрии, геодезических ходов, засечек и другими. При построении геодезической разбивочной основы для строительства (табл. 3.1) и вынесении главных осей зданий и сооружений (табл. 3.2) погрешность угловых, линейных и высотных измерений зависит от вида строящегося объекта и принимаемой им площади.

Таблица 3.1
Требования к разбивочной сети (пример)

Характеристика объекта	Средняя квадратическая погрешность		
	угловая	линейная	определения превышений на 1 км хода, мм
Предприятия и группы зданий на участках площадью более 1 км ²	3"	1:25 000	4
...			
Дороги, инженерные сети вне застраиваемых территорий; земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	30"	1:2 000	15

Таблица 3.2
Требования к вынесению осей зданий и сооружений (пример)

Характеристика объекта	Средняя квадратическая погрешность		
	угловая	линейная	определения превышений на станции, мм
Сборные железобетонные конструкции	5"	1:15 000	1
...			
Конструкции из дерева, инженерные сети, дороги, подземные пути	30"	1:2 000	5
Земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	45"	1:1 000	10

В приложении к СНиП 3.01.03-84 приведены условия обеспечения точности угловых, линейных и высотных измерений.

Например, точность угловых измерений определяется способом центрирования теодолита, фиксацией центра, типом теодолита и числом приемов при измерении угла (табл. 3.3).

Таблица 3.3
Условия обеспечения точности угловых измерений

Условия измерений	Средняя квадратическая погрешность					
	3"	5"	10"	20"	30"	45"
Центрирование теодолита	оптическое				шнуровой отвес	
Фиксация центра	чертилка	керн		шпилька		
Тип теодолита	T2	T5		T30		
Число приемов	3	2		2	1	

3.1.3. Контроль строительств, исполнительные съемки, система допусков

В процессе строительства зданий, сооружений следует проводить контроль точности геометрических параметров, который является обязательной составной частью контроля качества.

Контроль заключается:

- в проверке соответствия положения элементов, конструкций и частей зданий (сооружений) и инженерных сетей проектным требованиям в процессе их монтажа и временного закрепления (пооперационный контроль);
- в исполнительной геодезической съемке планового и высотного положения элементов, конструкций и частей зданий (сооружений), постоянно закрепленных после монтажа, также фактического положения подземных инженерных сетей.

Погрешность измерений в процессе геодезического контроля точности геометрических параметров зданий (сооружений), в том числе при исполнительных съемках инженерных сетей, определяются по формуле

$$m_{н.с} \leq 0,2\delta_{доп}; \quad (3.1)$$

$$\delta_{доп} = t m, \quad (3.2)$$

где $\delta_{доп}$ — предельные (допустимые) отклонения осей; t — коэффициент, принимаемый по заданной вероятности, определяется при разработке проекта производства работ, в зависимости от ответственности сооружения может быть принят 2; 2,5 или 3; m — СКП вынесения оси здания, сооружения (табл. 3.2).

По результатам исполнительного геодезического съемки составляют исполнительную схему (рис. 3.1), а для подземных инженерных сооружений — исполнительный чертеж в масштабе соответствующих рабочих чертежей.

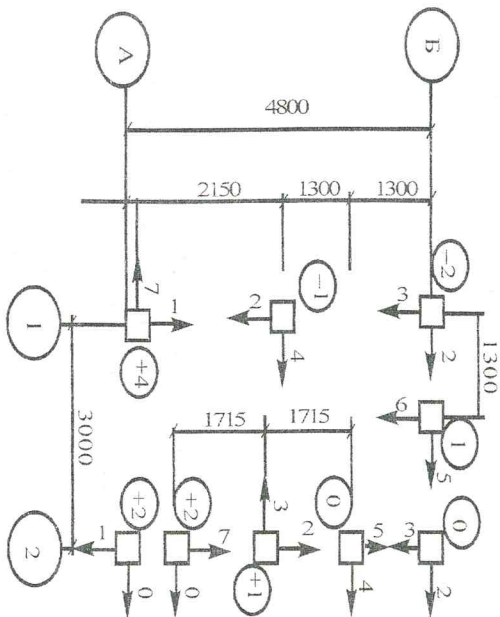


Рис. 3.1. Исполнительная схема планового и высотного положения свай

На исполнительной схеме указывают расстояния между центрами или главными осями сооружений, стрелкой — направление отклонения оголовка свай от оси, а цифрой — величину отклонения в сантиметрах. Цифра со знаком в кружке — отклонение от проектной отметки оголовка свай после срубки в сантиметрах, если отклонение равно нулю, это также указывают на схеме.

После завершения строительства при приемке работ заказчик должен выполнить контрольную геодезическую съемку в объеме не менее 10 % от общего объема исполнительных геоде-

зических съемок для проверки соответствия построенных сооружений исполнительным чертежам. После чего составляют акт приемки-передачи работ. Акт подписывают представители заказчика и строительной организации (производитель работ и работник геодезической службы).

3.2. Маркшейдерские работы при проведении траншей

При производстве открытых горных работ для вскрытия рабочих горизонтов проводят открытые наклонные горные выработки — капитальные траншеи. Капитальные траншеи служат длительным срок и используются для расположения в них транспортных трасс. Маркшейдерское обеспечение прокладки траншей является одной из ответственных задач при открытой разработке полезных ископаемых и содержит следующий комплекс работ:

- составление проекта проведения траншеи;
- разбивка на местности (перенесение в натуру) проектной оси, ее поперечных сечений и высотных отметок (профили почвы выработки);
- контроль правильности проведения выработки по заданному направлению, сечению и высотным отметкам;
- замеры и подсчет фактически вынутых объемов пород;
- исполнительная съемка и составление графической документации.

3.2.1. Составление проекта траншеи

1. Устанавливают метод проведения траншеи (экскаваторный, гидромеханизированный, скреперный, буровзрывной) и способ транспортировки пород.

2. Готовят исходные данные: *технологические* (местоположение точки врезки (А) и точки забоя (В), продольный уклон (i), ширина траншеи по подопле (В₀), углы откоса борта (Ф) и забоя траншеи (Ф₃), угол откоса отвала (Ф₀) — при бестранспортном способе проведения) и *маркшейдерско-геологические* (план геологической изученности, схемы расположения пунктов опорной и съемочной сети в районе работ, границы горного и земельного отводов, план поверхности, гипсометрический план залежи).

3. Вычисляют проектные параметры траншеи и сравнивают их с параметрами применяемого оборудования (эскаватора) для проведения траншеи. Параметры траншеи показаны на плане, продольном профиле и поперечном сечении (рис. 3.2).

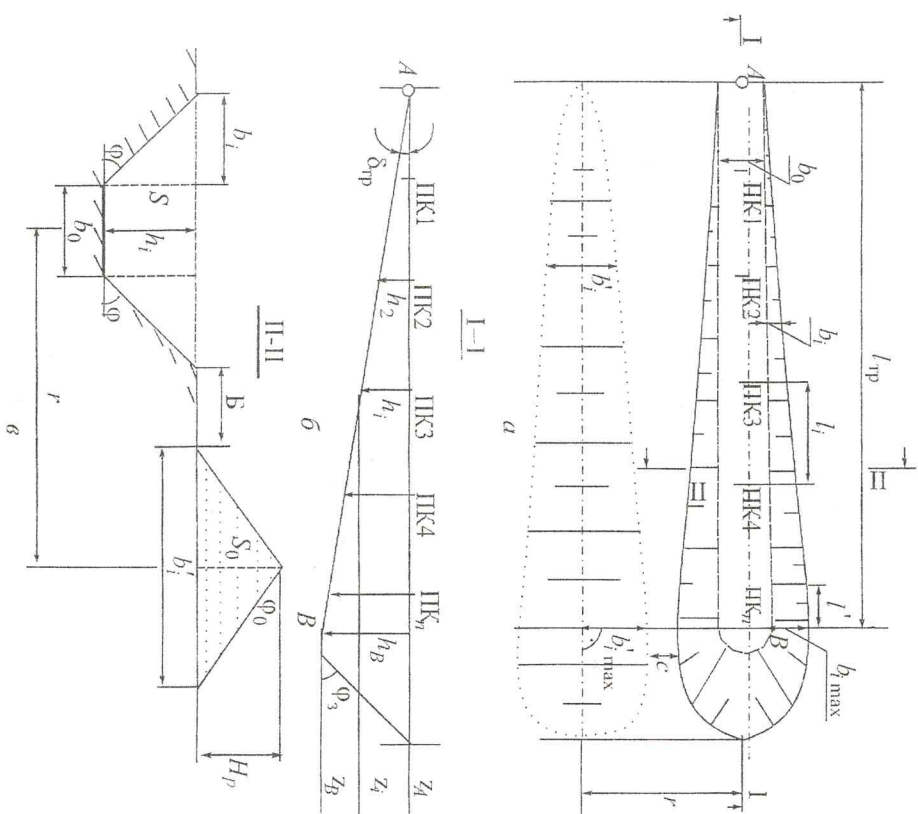


Рис. 3.2. План (а), продольный профиль (б) и поперечное сечение (в) траншеи

Теоретическое заложение траншеи

$$l_{\text{тр}} = \frac{Z_B - Z_A}{i} \cdot 1000, \quad (3.3)$$

где Z_A, Z_B — отметки точек врезки и забоя траншеи, м; i — продольный уклон траншеи, ‰.

Действительная длина траншеи

$$l_d = l_{\text{тр}} k_y, \quad (3.4)$$

где k_y — коэффициент удлинения трассы, зависит от способа приямки траншеи к рабочим горизонтам (рис. 3.3).

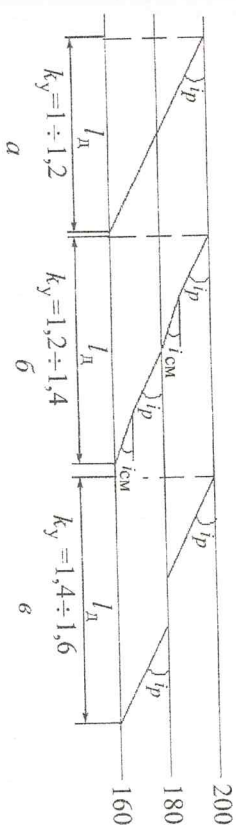


Рис. 3.3. Схема примыкания траншеи к рабочим горизонтам: а — на руководеящем подъеме; б — на смежном подъеме; в — с горизонтальными площадками

Поперечные сечения траншеи строят через 20–50 м (в зависимости от рельефа земной поверхности) и в каждом сечении определяют отметку подошвы (Z_i), глубину траншеи (h_i) и заложение (b_i) борта. При бестранспортной схеме проведения траншеи с разгрузкой породы на борт дополнительно определяют ширину развала отвалных пород (b'_i), складываемых на борт, и расстояние от оси траншеи до оси отвала (r).

Отметка подошвы

$$Z_i = Z_A - \frac{l_i \cdot i}{k_y}, \quad (3.5)$$

Глубина

$$h_i = Z_{i, \text{п}} - Z_i; \quad h_{i, \text{max}} \leq H_{\text{г}}. \quad (3.6)$$

Заложение борта

$$b_i = h_i \cdot \text{ctg} \varphi; \quad b_{i, \text{max}} \leq R_{\text{г}}, \quad (3.7)$$

где l_i — расстояние между сечениями, м; $Z_{i, з.п.}$ — отметка земной поверхности в сечении, м; φ — угол откоса борта, град; $H_{г.}$, $R_{г.}$ — глубина копания и радиус черпаны экскаватора, м.

Ширина развала отвальных пород

$$b'_i = \frac{S k_r}{0,5 H_r}, \quad (3.8)$$

где S — площадь поперечного сечения траншеи в целом, м²; k_r — коэффициент разрыхления пород; H_r — высота разгрузки экскаватора, м.

Расстояние между осью траншеи и осью отвала:

$$r = \frac{b_0}{2} + b_{i, \max} + \frac{b'_{i, \max}}{2} + B; \quad r \leq R_r, \quad (3.9)$$

где b_0 — ширина траншеи по подолу, м; $b_{i, \max}$ — максимальное заложение борта траншеи, м; $b'_{i, \max}$ — максимальная ширина отвала, м; B — берма безопасности (минимальное расстояние между бортом траншеи и нижней границей отвала), м; R_r — радиус разгрузки экскаватора, м.

Проектный объем земляных работ при проведении траншеи складывается из суммы объемов ее частей, определяемых способом вертикальных параллельных сечений: от точки врезки A до

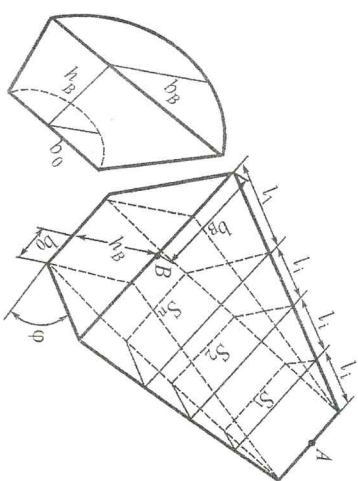


Рис. 3.4. Схема для определения объема наклонной траншеи

первого сечения — объем клина высотой l_i и основанием S_1 , от первого до последнего сечения (с номером n) — объем призмы высотой l_i ; между сечением n и точкой забоя B — объем призмы высотой l_i ; в торцевой части — объем конуса, высотой h_B и радиусами b_0 и b_B рис. 3.4):

$$V = \left[\left(\frac{S_1}{2} + S_2 + S_3 + \dots + \frac{S_1 + S_n}{2} \right) l_i + \frac{S_n + S_B}{2} l_i + \frac{\pi h_B}{2 \cdot 3 \cdot 2^2} (b_0^2 + b_0 b_B + b_B^2) \right] k_r, \quad (3.10)$$

где S_1, S_2, S_3, S_n — площади поперечных сечений траншеи в целом, м²; S_B — площадь поперечного сечения траншеи в точке забоя, м²; l_i — расстояние между сечениями, м; l_i — расстояние от последнего сечения до точки забоя; h_B, b_B — соответственно глубину и ширина траншеи в точке забоя, м.

3.2.2. Разбивка на местности трассы траншеи и контроль ее проведения

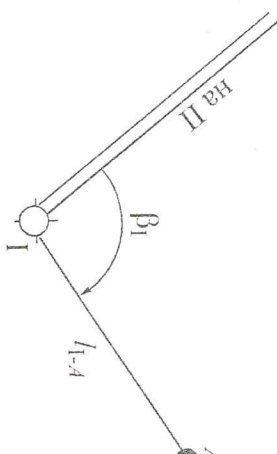


Рис. 3.5. Схема вынесения точки врезки (A) траншеи

лит на пункт опорной или съемочной сети (I), визируют на другой пункт опорной или съемочной сети (II), установив по лимбу отсчет близкий к нулю, откладывают угол $\beta_1 = \alpha_1 - A - \alpha_1 - II$, по направлению визирного луча на расстоянии $l_i - A$ забивают колышек, который обозначает положение точки врезки A на местности (рис. 3.5).

Ось траншеи в горизонтальной плоскости: устанавливают теодолит на точку A , визируют на пункт I , откладывают угол β_A , по направлению визирного луча на расстоянии около 100 м уста-

Точка врезки: на

план траншеи наносят пункты маршейдерской опорной и съемочной сети и производят привязку к ним точки врезки траншеи. Вычисляют левый

угол β_r , горизонтальное проложение $l_i - A$,

наклонную длину $l_i - A$. Устанавливают теодолит на пункт опорной или съемочной сети (I), визируют на другой пункт опорной или съемочной сети (II), установив по лимбу отсчет близкий к нулю, откладывают угол $\beta_1 = \alpha_1 - A - \alpha_1 - II$, по направлению визирного луча на расстоянии $l_i - A$ забивают колышек, который обозначает положение точки врезки A на местности (рис. 3.5).

навешивают верху, затем провешивают ось траншеи "на себя", т. е. поднимаются от точки 1 к точке врезки 4 через 3–5 м закрепляют еще 2–3 вехи (рис. 3.6). Допустимая погрешность вынесения оси траншеи определяется требованиями СНиП 3.01.03–84 (табл. 3.2).

$$\beta_A = \alpha_{\text{очн}} - \alpha_{A-1}, \quad (3.11)$$

где $\alpha_{\text{оси}}$ – дирекционный угол оси, снимают графически.

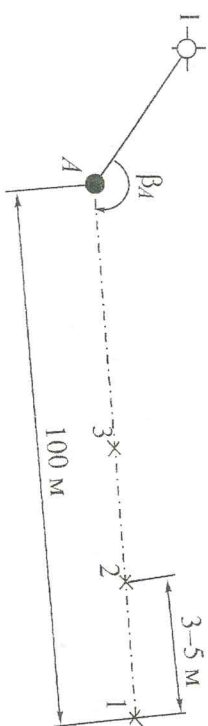


Рис. 3.6. Схема вынесения оси траппеи в горизонтальной плоскости

Ось траншеи в вертикальной плоскости (предварительное вынесение углов): по оси траншеи через 20–50 м разбивают пикеты. Рядом с пикетом забивают сторожок, на котором указывают номер пикета и глубину среза (рис. 3.7).

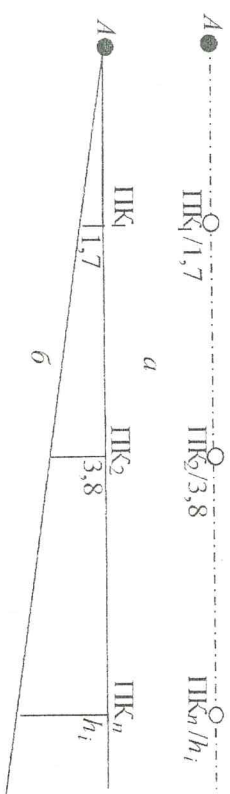


Рис. 3.7. Схема предварительного вынесения уклона оси траншеи: *a* – план; *б* – профиль

Контур траншеи: от каждого пикета с помощью эскара востанавливают перпендикуляр в обе стороны от оси и откладывают по параметрам траншеи $b_0/2$, b_i , r , закрепляют контур траншеи кольями, а ось отвала — вехами (рис. 3.8).

Отметку точки забоя (В) траншеи выносят после выемки основной массы грунта. На точку врезки (А) устанавливают теодолит, замеряют высоту инструмента I, по вертикальному кругу откладывают угол наклона траншеи $\delta_{\text{тр}} = \arctg (i/1000)$, i — уклон траншеи, ‰; по направлению визирного луча выносят действительную длину траншеи $l_{\text{д}}$, получают положение точки В. В точке В устанавливают рейку и перемещают ее в вертикальной плоскости (вверх — вниз), пока отсчет по средней нити будит равен высоте инструмента I; под пятку рейки забивают колышек, торцом которого соответствует проектной отметке подошвы траншеи в точке В (рис. 3.9).

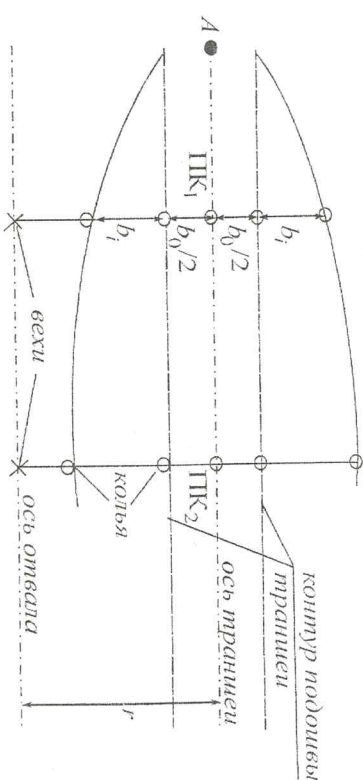


Рис. 3.8. Схема вынесения контура траншеи

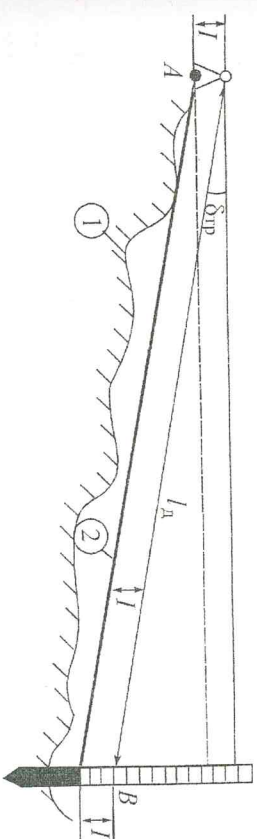


Рис. 3.9. Схема вынесения точки забоя траншеи на проектную отметку:

1 – профиль земной поверхности; 2 – линия проектного уклона

Уклоп траншеи: после выемки основного объема грунта выполняются вертикальную съемку, строят фактический профиль 1 пошвы траншеи (рис. 3.10). По фактическому профилю и мощности отсыпанного балластного слоя определяют вертикальную скобу C , намечают линию 3, параллельную проектному уклону 2, на пикетах забивают колышки. В удобном месте ставят нивелир, по рейке, установленной на исходном репере R_p , берут отсчет a , затем последовательно устанавливают рейку на пикетах и перемещают ее в вертикальной плоскости, добиваясь отсчета a_i под пяткой рейки на колышке у каждого пикета. Делают метки, которые обозначают на местности линию, смещенную относительно проектного уклона на величину вертикальной скобы C .

$$a_i = a - C + i l_i, \quad (3.12)$$

где C – вертикальная скоба (20–50 см); i – уклон трассы, в долях;
 l_i – расстояние от исходного репера до пикета, м.

Для длительной сохранности пикеты смещают параллельно оси и закрепляют по линии хода одной из гусениц экскаватора.

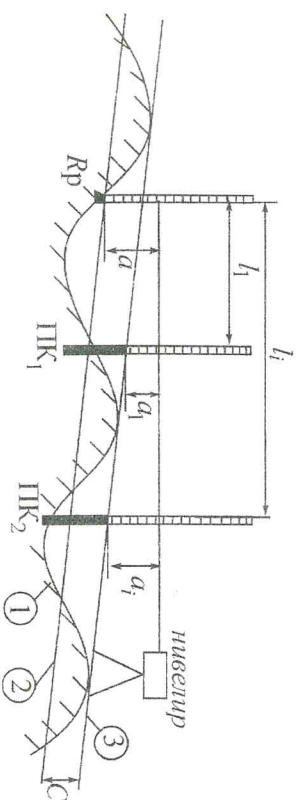


Рис. 3.10. Схема вынесения углона траншеи нивелиром

Контроль проведения траншеи: выполняют исполнительную съемку подшовы траншеи и верхней бровки. Результаты съемки наносят на соответствующие проектные чертежи. Сравнивают проектные и фактические параметры траншеи, если отклонения осей, ширина по подшову и др. измеренные величины не превышают допустимых отклонений, оформляют акт приемки выполненных работ.

3.3. Маршейдерские работы при строительстве транспортных трасс

На открытых разработках полезных ископаемых применяются следующие виды транспорта: автомобильный, рельсовый, конвейерный, гидравлический, воздушно-канатный, а также транспортно-отвальные мосты. Маркшейдерско-геодезические работы проводятся с целью обеспечения планово-высотного положения транспортных трасс и коммуникаций. Для производства разбивочных работ по вынесению трасс необходима следующая *исходная документация*: план трассы с нанесенными характерными точками, продольный профиль и поперечные сечения, план расположения средлочных переводов, схемы разбивки закрутлений, координаты опор, уклон и углы наклона отдельных участков.

3.3.3.1. Бизнесные проектные направления в индустрии

Ось трассы в горизонтальной плоскости. Вблизи трассы закрепляют пункты съемочного обоснования, от которых способом полирных или прямоугольных координат выносят главные точки трассы в натуру (рис. 3.11).

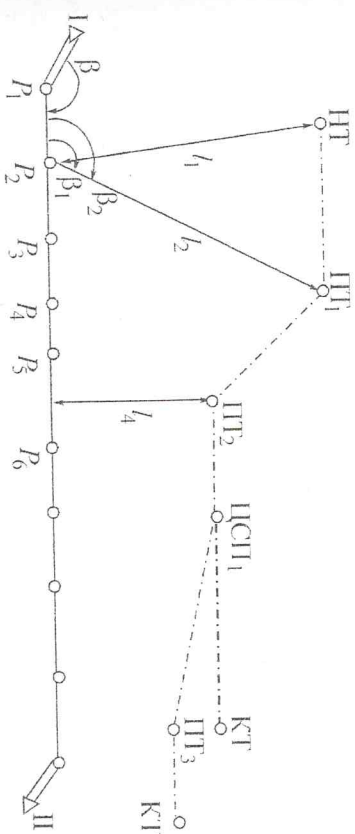


Рис. 3.11.1. Схема вынесения оси трассы в плане:

$P_1, P_2, \dots, P_6$ — пункты съемочной сети (теодолитного хода)

Закрепляют главные точки (НТ – начало трассы, ПТ – поворот трассы, ЦСП – центр стрелочного перевода, КТ – конец трассы) на местности деревянными кольями или металлическими

стержнями, вбитыми на уровне с землей, около которых забивают "сторожки". На прямолинейных участках трассы через 100–150 м устанавливают по 3 вехи. В перегибах рельефа, на закруглениях и участках стрелочных переходов закрепляют плюсовые точки.

Уклон трассы. На участке расположения транспортных трасс забивают пикетаж, выполняют вертикальную съемку трассы и строят фактический профиль (рис. 3.12).

На исходном репере (R_p) устанавливают рейку, на расстоянии 100–150 м от исходного репера устанавливают нивелир и берут отсчет a_{R_p} , вычисляют $\Gamma\text{И} = Z_{R_p} + a_{R_p}$, затем последовательно на пикетах ставят рейку и перемещают ее в вертикальной плоскости до тех пор, пока отсчет по средней нити будет равен a_i ($a_i = \Gamma\text{И} - Z_i^{\text{пр}}$). Под пятку рейки забивают колышек, торец которого соответствует проектной отметке пикета.

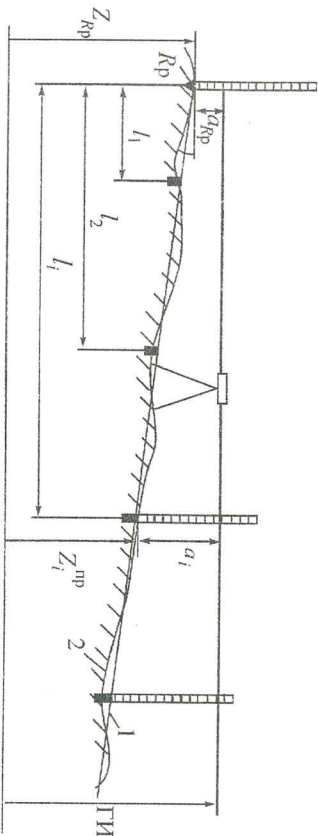


Рис. 3.12. Схема вынесения уклона трассы нивелиром:
1 — профиль земной поверхности; 2 — линия проектного уклона

Разбивка закруглений. При разбивке закруглений выносят на местности главные точки кривой, а затем выполняют детальную разбивку кривой способом ординат или способом продольных хорд. Выбор способа детальной разбивки кривой зависит от конкретных условий местности.

Вынесение главных точек кривой. Основные элементы кривой определяются величиной угла поворота трассы β_0 и радиусом

кривой R . По специальным таблицам или формулам определяют остальные элементы кривой: тангенс — T , биссектрису — B , кривую — K и домер — D .

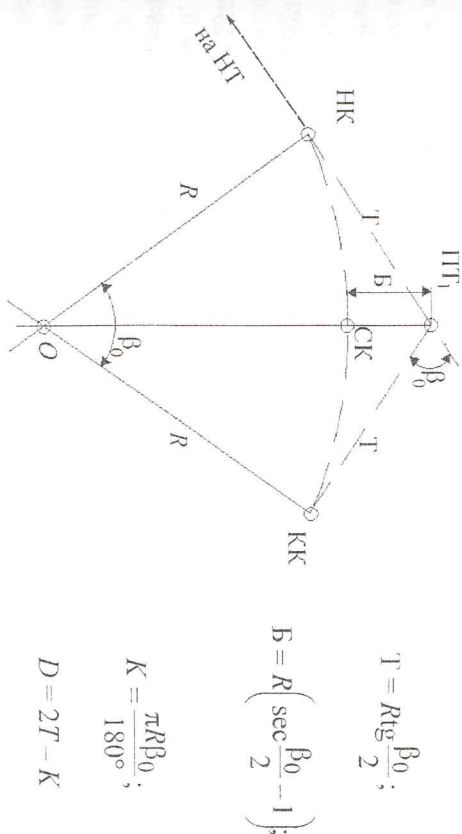


Рис. 3.13. Схема разбивки главных точек кривой

Для вынесения главных точек кривой на местности устанавливают теодолит на точку ПТ_1 и визируют на точку, расположенную на прямолинейном участке трассы, например НТ ; по направлению визирного луча откладывают тангенс кривой (T) и закрепляют на местности точку начала кривой НК. По лимбу откладывают угол $(180^\circ + \beta_0)$ и по направлению визирного луча на расстоянии тангенса кривой (T) закрепляют конечную точку кривой — КК. Вновь визируют на точку НТ , откладывают по лимбу угол $(270^\circ + \beta_0/2)$ и по направлению визирного луча на расстоянии равном биссектрисе кривой (B) отмечают точку середины кривой СК (рис. 3.13).

Детальная разбивка кривой способом ординат. На местности накладывают шнур между точками НК, ПТ_1 , откладывают расстояние x_1 , отмечают точку $1'$. Из точки $1'$ экером восстанавливают

откладывают угол α и на боковом пути отмечают расстояния b и λ . ЦСП и ПС на местности закрепляют металлическими кольями, оставляя над землей 5–10 см. Остальные точки закрепляют деревянными кольями.

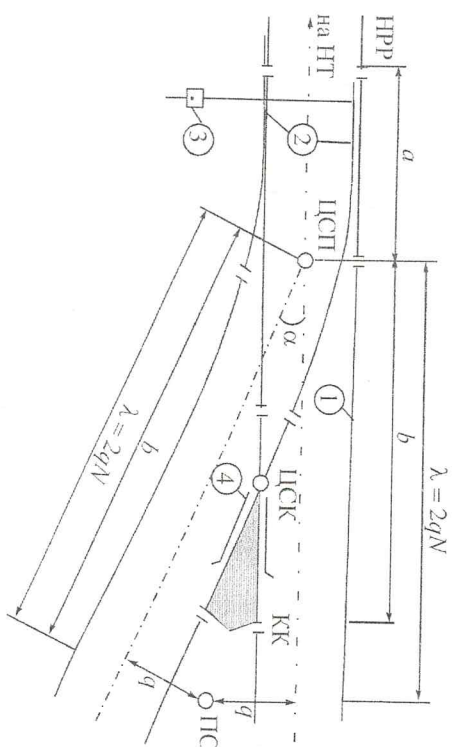


Рис. 3.16. Схема разбивки стрелочных переходов:

НРР – начало рамного рельса; ЦСП – центр стрелочного перевода; ЦСК – центр стрелочной крестовины; КК – корень крестовины; ПС – предельный столбик; 1 – рамный рельс; 2 – остряки; 3 – переводный механизм; 4 – крестовина

После разбивки и укладки стрелочных переходов, прямых и криволинейных участков путей производят детальную съемку и составляют план.

Определение высоты подвески провода. Высоту подвески провода определяют с целью проверки габаритов подвижного состава:

$$h = h_1 + h_2 = d \operatorname{tg} \delta_1 + d \operatorname{tg} \delta_2 = d(\operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2). \quad (3.14)$$

Устанавливают теодолит перпендикулярно к линии провеса провода примерно против точки максимального провеса A (рис. 3.17). Визируют на точку A и с помощью вертикальной нити проектируют точку A' на землю, получают ее проекцию – A' . Замеряют вертикальные углы δ_1 и δ_2 и расстояние d от теодолита до проекции точки A и по формуле (3.14) вычисляют высоту подвески провода.

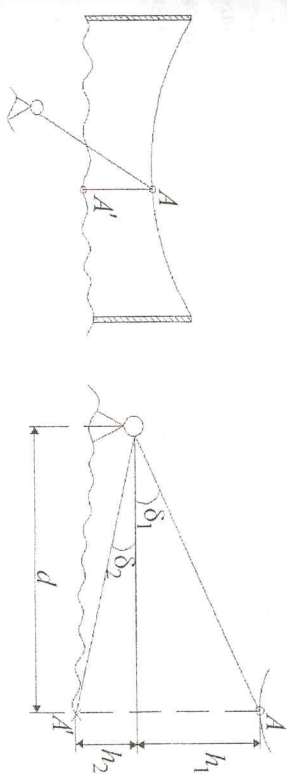


Рис. 3.17. Схема к определению высоты подвески провода

3.3.2. Использование электронных тахеометров для вынесения проектных элементов в натуру

При перенесении геометрических элементов проекта в натуру решается обратная геодезическая задача, поэтому способы разбивочных работ аналогичны способам съемки. При этом от пунктов и линий маршейдерской опорной или съемочной сети проектные данные, углы и превышения не измеряют, а вычисляют по длине линий, а затем откладывают на местности, используя теодолит и светодальномер (рулетку). Решение этой задачи значительно облегчилось за счет применения электронного тахеометра, включающего в себя функции теодолита, светодальномера и микропроцессора. В настоящее время известны около сотни моделей электронных тахеометров: SOKKIA SET, Trimble Total Station, Leica TPS, Nikon DMT, Topcon GTS и другие. Модели инструментов отличаются по внешнему виду, техническим характеристикам и стоимости, но имеют схожие принципы работы. Рассмотрим сущность работы по вынесению проектных элементов в натуру с использованием электронного тахеометра.

Внутренняя память в зависимости от модификации электронного тахеометра надежно сохраняет информацию о большом количестве (3000–10000) точек съемки и до 16000 точек для выноса в натуру. Помимо этого на заводе-изготовителе отделе модели тахеометра оснащены системой визуального створочка задания. Это функция обеспечивает быстро и просто установку реchnera в заданном створе. Два диода, один мигающий и один

постоянно горящий, помогут определить правильное направление для выноса в натуру.

Процедура выноса в натуру точки, заданной *горизонтальным* углом β относительно опорного направления и *расстоянием* L от точки стояния инструмента (станции), следующая (рис. 3.18).

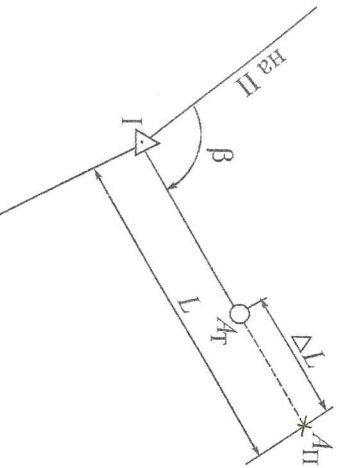


Рис. 3.18. Схема выноса расстояний:
I – станция; II – опорное направление; L – расстояние для выноса; ΔL – отклонение по рас-
стоянию; A_T – текущее по-
ложение отражателя;
 A_P – проектное положение
выносимой точки

Инструмент устанавливают на станции I, визируют на опорное направление II. Задают на дисплее предварительно вычисленные: расстояние от точки стояния до выносимой точки, угол между опорным направлением и направлением для выноса. Поворачивают верхнюю часть инструмента в направлении визирования на определяемую точку A_T , а затем помещают отражатель на линию визирования. Перемещают отражатель от или к инструменту (IN/OUT), а затем влево или вправо (L/R), пока на дисплее тахеометра не отразится специальный знак, обозначающий, что в пределах точности измерений отражатель установлен в искомой точке A_P .

Электронные тахеометры имеют программное обеспечение, позволяющее выносить в натуру точку по *заданным координатам* (рис. 3.19). В этом случае вводятся с клавиатуры или выбирается из памяти прибора номер и координаты выносимой точки.

Тахеометр поворачивают вокруг вертикальной оси, пока на дисплее установится нулевое значение отклонения от направления на проектную точку. Запускается программа "вынос точки в натуру", и на дисплее высвечивается номинальное значение го-

ризонтального положения от точки стояния инструмента I до запроектированной точки A_P . Отражатель устанавливают в заданном направлении приблизительно на номинальном расстоянии A_T , а затем перемещают вперед/назад (IN/OUT) в соответствии с подсказкой, выдаваемой программой на дисплее.

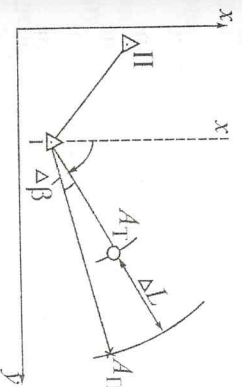


Рис. 3.19. Схема выноса точки по заданным координатам:
I – станция; II – точка обратного ориентирования; ΔL – отклонение по расстоянию; $\Delta\beta$ – отклонение по углу; A_T – текущее положение отражателя; A_P – проектное положение выносимой точки

Для выноса высотной отметки повторяют все операции, но уже в вертикальной плоскости, используя подсказку "ниже/выше" (SU/T/FL/L). Измерения повторяют, изменяя при этом высоту отражателя до получения нулевого отклонения от проектной высоты.