

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

**Учебно-методическое пособие для студентов
строительных и транспортных специальностей БелГУТа**

Часть II

Гомель 2011

3

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Учебно-методическое пособие для студентов
строительных и транспортных специальностей БелГУТа

Часть II

Одобрено методической комиссией факультета ПГС

Гомель 2011

УДК 528.48 (075.8)
ББК 26.12
К93

А в т о р ы: канд. техн. наук, доцент **Е. К. Атрошко** (предисл., гл. 1–3, 6, 11), ст. преп. **В. Б. Марендич** (гл. 7–10), ассист. **А. А. Ткачев** (гл. 4, 5), ассист. **Н. С. Сырова** (гл. 12).

Р е ц е н з е н т – заведующий кафедрой «СЭД» канд. техн. наук, доцент *П. В. Ковтун* (УО «БелГУТ»).

Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие для студентов К93 строительных и транспортных специальностей БелГУТа. В 2 ч. Ч. II / Е. К. Атрошко [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 187 с.
ISBN 978-985-468-862-6 (ч. II)

В первой части пособия (Гомель, 2010) были изложены основные сведения по геодезии, топографические карты и планы, теория погрешностей измерений, устройство и работа геодезических приборов.

Во второй части рассмотрены способы выполнения съемочных работ, а также вопросы, связанные с выполнением геодезических работ при строительстве и эксплуатации промышленных зданий и инженерных сооружений.

Предназначено для студентов I курса строительных и транспортных специальностей БелГУТа.

УДК 528.48 (075.8)
ББК 26.12

ISBN 978-985-468-862-6 (ч. II)
ISBN 978-985-468-756-8

© Оформление. УО «БелГУТ», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие «Курс инженерной геодезии (часть II)» составлена в соответствии с типовыми и рабочими программами по дисциплине «Инженерная геодезия» для студентов строительных и транспортных специальностей БелГУТа.

Данное пособие является продолжением учебно-методического пособия «Курс инженерной геодезии (часть I)» и методически оно опирается на основные сведения и геодезические приборы, изложенные в первой части.

Данное пособие разделено на два раздела. В первом разделе рассмотрены основные топографические съемки местности: тахеометрическая, мензульная и нивелирование поверхности, а также изложены сведения по фотограмметрии и фототопографии, приведены современные специальные виды съемок с помощью приборов спутниковых технологий и методов лазерного сканирования.

Второй раздел пособия посвящен инженерно-геодезическим работам при изысканиях, строительстве и эксплуатации различных видов сооружений: железных и автомобильных дорог, линий водоснабжения и водоотведения, промышленных и гражданских зданий. Рассмотрены также геодезические работы при реконструкции, эксплуатации и экспертизе зданий, сооружений и строительных конструкций.

Во втором разделе пособия первоначально рассмотрены геодезические сведения, общие для всех специальностей, а затем на основе этого указаны особенности инженерно-геодезических работ для отдельных специальностей факультетов С, ПГС и УПП БелГУТа, что является весьма важным при подготовке будущих инженеров.

Авторы выражают благодарность рецензенту заведующему кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» кандидату технических наук П.В. Ковтуну и ассистенту И.П. Драловой за помощь в подготовке и оформлении учебно-методического пособия.

1 ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

1.1 Общие сведения о топографических съемках местности

Съемкой местности называют совокупность геодезических измерений, выполняемых с целью составления плана участка местности. Съемки бывают **горизонтальными**, при которых получают положение контуров и предметов местности без рельефа. Если при съемке получают рельеф местности, то такие съемки называют **вертикальными**. Съемки, в результате которых получают ситуацию местности и рельеф называют **топографическими**.

При выполнении съемок местности различают следующие **этапы**: подготовительный, полевой и камеральный.

Во время *подготовительного* этапа изучают имеющийся топографический материал на данную местность, составляют проект выполнения работ, производят рекогносцировку участка и закрепляют точки съемочной сети.

В процессе *полевого* этапа при помощи геодезических приборов выполняют измерения углов, расстояний и превышений, необходимых для определения взаимного положения точек местности в плане и по высоте.

Камеральный этап работ состоит из вычислительной и графической частей, в процессе выполнения которых определяют координаты и высоты точек и составляют планы и профили местности.

По названию основных приборов, которыми выполняются полевые измерения, различают следующие **виды съемок**:

- *теодолитная*, которую производят с помощью теодолита и мерной ленты или рулетки;
- *тахеометрическая*, которую выполняют геодезическими приборами называемыми тахеометрами;
- *мензульная*, основными приборами для выполнения которой являются мензула и кипрегель;
- *нивелирование* поверхности, которое выполняют при помощи нивелира и рулетки;
- *фототопографические*, которые делятся на аэрофотосъемку (съемку аэрофотоаппаратом с самолета), космическую фотосъемку (выполняется с искусственных спутников Земли) и фототеодолитную съемку (наземную, выполняемую теодолитом имеющим фотоаппарат вместо зрительной трубы);
- *специальные*, к которым относят современные методы съемки с помощью трехмерных лазерных сканеров, а также съемки спутниковыми приемниками.

Основными параметрами любой съемки являются масштаб и высота сечения рельефа. **Масштаб** съемки выбирают в зависимости от конечной цели выполняемых работ. Если необходимы подробные сведения

о местности, то для съемки выбирают крупные масштабы, так как точность масштабов

$$t = 0,1 \text{ мм} \cdot M,$$

где M – знаменатель масштаба.

Например, для масштаба плана 1:500 $t = 0,1 \text{ мм} \cdot 500 = 50 \text{ мм} = 5 \text{ см}$, а если требуются общие сведения о местности, то используют мелкие масштабы, например 1:10000 ($t = 0,1 \text{ мм} \cdot 10000 = 1 \text{ м}$).

В ы с о т у с е ч е н и я р е л ь е ф а выбирают в зависимости от масштаба съемки и характера рельефа местности. Для планов стандартных масштабов высоту сечения рельефа можно определить по формуле

$$h = 0,2 \text{ мм} \cdot M,$$

где M – знаменатель численного масштаба.

Например, для масштаба 1:5000 высота сечения рельефа будет иметь величину $h = 0,2 \text{ мм} \cdot 5000 = 1000 \text{ мм} = 1 \text{ м}$.

Однако если рельеф местности будет равнинный, то высоту сечения рельефа можно принять для данного масштаба $h = 0,5 \text{ м}$, и наоборот, если характер местности будет горный, то высоту сечения рельефа для масштаба 1:5000 принимают равной 5 м. В таблице 1.1 указаны основные сведения о выборе стандартной высоты сечения рельефа.

Таблица 1.1 – Выбор высоты сечения рельефа в зависимости от характера местности и масштаба плана и карты

| Характер местности | Углы наклона | Высота сечения рельефа, м | | | | | |
|--------------------|--------------|---------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | | 1:500 | 1:1000 | 1:2000 | 1:5000 | 1:10000 | 1:25000 |
| Равнинная | До 4° | 0,1–0,25 | 0,25 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 2,5 |
| Пересеченная | 4–10° | 0,5 | 0,5–1,0 | 1,0 | 1,0–2,0 | 2,0–2,5 | 5,0 |
| Горная | 10–30° | 1,0 | 1,0–2,0 | 2,0 | 5,0 | 5,0 | 10,0 |

Производство любой съемки выполняют по принципу перехода от общего к частному, то есть сначала на местности с повышенной точностью определяют плановое и высотное положения ряда отдельных точек, которые образуют опорную съемочную сеть, а затем с точек этой опорной сети снимают все характерные точки ситуации и рельефа местности.

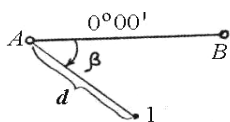
Теодолитная (горизонтальная) съемка местности была рассмотрена в первой части пособия. Остальные виды съемок являются топографическими, при которых снимают и ситуацию, и рельеф местности. Рассмотрим каждый из указанных видов топографических съемок более подробно.

1.2 Сущность тахеометрической съемки. Тахеометрические формулы

Тахеометрическая съемка является основным видом съемки для получения топографического плана местности в крупных масштабах (1:500 – 1:5000). Применяют ее для съемки небольших незастроенных участков местности, а также при изысканиях и проектировании дорог и искусственных сооружений.

В переводе с греческого языка тахеометрия означает „быстрое измерение“. Быстрота тахеометрической съемки достигается тем, что при одном только визировании на точку местности с исходного пункта сразу определяют расстояние до этой точки, направление на нее и превышение, что позволяет определить положение точки относительно исходного пункта в плане и по высоте.

Выполняют тахеометрическую съемку с помощью геодезических приборов, называемых **тахеометрами**. При этом расстояния до точек определяют по дальномеру тахеометра, направление линии – по горизонтальным углам, а превышения – способом тригонометрического нивелирования. Для определения планового положения точки используется полярный способ съемки, при котором положение точки 1 определяется с помощью измерения горизонтального угла (β) и полярного расстояния (d) (рисунок 1.1).



1

Высотное положение точки определяется путем измерения тахеометром превышения способом тригонометрического нивелирования.

Сущность тригонометрического нивелирования показана на рисунке 1.2. Для определения превышения (h) в точке A устанавливают тахеометр, а в точке 1 – рейку. Измеряют с помощью рулетки или рейки высоту прибора (i). Затем наводят зрительную трубу тахеометра на рейку и определяют по вертикальному кругу угол наклона (v) линии визирования. С помощью дальномера тахеометра измеряют наклонное расстояние (D) или горизонтальное проложение (d).

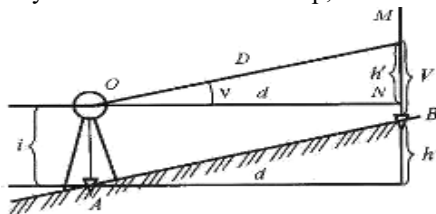


Рисунок 1.2 – Тригонометрическое нивелирование

Из рисунка 1.2 превышение (h) можно определить по формуле

$$h = h' + i - V, \quad (1.1)$$

где h' – превышение над горизонтальным лучом визирования;

V – высота наведения на рейке (высота визирования).

Из прямоугольного треугольника OMN , видно, что

$$h' = d \cdot \operatorname{tg} v, \quad (1.2)$$

или, учитывая, что

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (1.3)$$

получим

$$h' = D \cdot \cos^2 v \cdot \sin v / \cos v = 0,5D \cdot \sin 2v. \quad (1.4)$$

Окончательно с учетом формулы (1.1) превышение

$$h = 0,5D \cdot \sin 2v + i - V. \quad (1.5)$$

Если расстояние (D) измерено нитяным дальномером, то

$$D = kn + C, \quad (1.6)$$

где k – коэффициент нитяного дальномера ($k = 100$);

n – число сантиметровых делений между дальномерными штрихами;

C – постоянная нитяного дальномера.

Подставив формулу (1.6) в (1.5), получим

$$h = 0,5(kn + C) \cdot \sin 2v + i - V. \quad (1.7)$$

Если при измерении углов наклона средний штрих сетки нитей тахеометра наводят на высоту прибора, то есть $V = i$, формулы (1.1), (1.5) и (1.7) примут более простой вид:

$$h = h' = d \operatorname{tg} v; \quad (1.8)$$

$$h = 0,5 D \sin 2v; \quad (1.9)$$

$$h = 0,5 (kn + C) \sin 2v. \quad (1.10)$$

Вычисления по формулам (1.3) и (1.4) можно выполнять с помощью специальных тахеометрических таблиц, в которых по аргументам (D) и (v) определяются горизонтальное проложение (d) и величина превышения над горизонтальным лучом (h').

При расстояниях d более 300 м в полученные формулы вводят поправку за кривизну Земли и рефракцию, которую вычисляют по формуле

$$f = 0,42 d^2 / R, \quad (1.11)$$

где d – горизонтальное проложение;

R – радиус Земли ($R \approx 6400$ км).

С учетом этой поправки полная формула вычисления превышения способом тригонометрического нивелирования примет вид

$$h = h' + i - V + f. \quad (1.12)$$

Если расстояние до определяемой точки менее 300 м, то поправка за кривизну Земли и рефракцию будет $f < 0,01$ м, и ее не учитывают.

Точность тригонометрического нивелирования зависит в основном от точности измерения угла наклона и величины расстояния от тахеометра до точки. В среднем при ошибке измерения угла наклона $m_b = 1'$ погрешность

определения превышения будет составлять 4 см на каждые 100 м расстояния, то есть на 200 м $m_h = 8$ см.

При расстояниях свыше 1–2 км на ошибку в определении превышения начинают оказывать значительное влияние непостоянство земной рефракции и условия видимости. Поэтому тригонометрическое нивелирование следует производить в полуденное время с 9 до 16 часов, когда земная рефракция принимает более устойчивое значение.

1.3 Приборы для тахеометрической съемки

Для производства тахеометрической съемки обычно применяют тахеометры и тахеометрические рейки. **Тахеометры** могут быть круговые и тахеометры-автоматы.

К р у г о в о й тахеометр представляет собой оптический теодолит, снабженный вертикальным кругом, нитяным дальномером и буссолью. Такие теодолиты иногда называют теодолиты-тахеометры. Таким образом, технические теодолиты моделей Т30, 2Т30, 2Т30П и точные теодолиты 2Т5К, 3Т5КП являются теодолитами-тахеометрами.

В качестве **тахеометрических реек** при небольших расстояниях можно использовать обычные нивелирные рейки с шашечными делениями. А при расстояниях от тахеометра до точки свыше 100 м используют специальные тахеометрические рейки, которые имеют более крупные деления и различную расцветку, облегчающую снятие отсчетов по дальномерным нитям. Цена деления на этих рейках выбирается такой, чтобы коэффициент дальномера тахеометра, к которому прилагаются рейки, был равен 100.

Для ускорения работ при тахеометрической съемке применяют т а х е м е т р ы - а в т о м а т ы, которые с помощью различных технических устройств дают возможность определять превышения и горизонтальные проложения линий автоматически без вычислений.

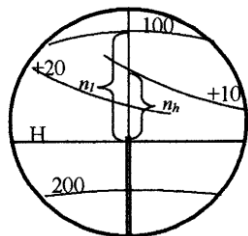


Рисунок 1.3 – Поле зрения номограммного тахеометра

Тахеометры-автоматы могут быть номограммные и электронные. *Номограммный* тахеометр представляет собой оптический теодолит, снабженный дополнительным вертикальным кругом, на котором нанесены кривые (номограммы) расстояний и превышений, рассчитанные по формулам (1.3) и (1.4). Они передаются в поле зрения трубы (обычно только при круге лево), и непосредственно по ним с дальномерной рейки определяют горизонтальные расстояния и превышения. На рисунке 1.3 показано поле зрения номограммного тахеометра *DALHTA 010A*. Его

номограмма имеет следующие кривые: основную (нулевую, начальную), обозначенную на рисунке буквой *H*, две кривых горизонтальных расстояний

с коэффициентами 100 и 200 и шесть кривых превышений, из которых в поле зрения видны максимум две, например, +10 и +20, как на рисунке.

При измерении превышений или вертикальных углов на визирную цель наводят основную кривую. В процессе съемки удобно использовать рейку с выдвигной пяткой (раздвижную рейку), позволяющую устанавливать ее ноль на высоту прибора. Работу с номограммой выполняют, как и с нитяным дальномером. То есть основную кривую наводят на ноль рейки (или на какое-либо другое ее деление). Затем вдоль вертикальной нити с точностью до 0,1 считают число сантиметровых делений: n_l – между основной кривой и кривой расстояний и n_h – между основной кривой и кривой превышений. После перемножения этих значений на соответствующие коэффициенты получают искомые величины l и h .

Точность определения расстояний и превышений номограммным тахеометром такая же, как и круговым тахеометром. Для повышения автоматизации полевых измерений при тахеометрической съемке применяют электронные тахеометры.

Электронный тахеометр содержит угломерную часть, созданную на базе кодового теодолита, светодальномер и встроенную микроЭВМ (рисунок 1.4). С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вертикальные углы, при этом, в отличие от обычных оптических теодолитов, кодовый электронный теодолит имеет на горизонтальных и вертикальных кругах высокоточные датчики углов, от которых отсчеты по кругам передаются на индикацию и регистрацию. Светодальномер тахеометра позволяет измерять расстояния до отражателя, установленного на штативе или на переносимой с точки на точку вешке. МикроЭВМ тахеометра дает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего электронный тахеометр снабжен набором необходимых прикладных программ. Полученная в ходе измерений информация может передаваться на цифровое табло тахеометра, а также регистрироваться во внутренней памяти прибора и на флэш-картах для последующего ввода в компьютер с целью дальнейшей обработки.



Рисунок 1.4 – Тахеометр Trimble5600

Электронный тахеометр имеет две панели управления, расположенные с обеих сторон прибора. На панели управления расположены клавиатура, служащая для управления процессом измерений и ввода информации вручную и дисплей.

Программное обеспечение электронных тахеометров позволяет решать достаточно широкий круг геодезических задач. Для этого предусмотрен

ввод и сохранение данных о станции (стоянке тахеометра). В эти данные входят номер точки, ее координаты и отметка над уровнем моря, высота прибора, дата, время, сведения о погоде, имя оператора и другие сведения.

По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных, вертикальных и дирекционных углов, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, где установлены отражатели, приращений координат, а также плоских и пространственных координат наблюдаемых точек. Предусмотрена также возможность определения координат точек по результатам засечек, вычисления неприступных расстояний и определение высоты недоступной точки.

Для обеспечения разбивочных работ служат программы вычисления углов и расстояний для выноса точки с заданными координатами. При решении задач может учитываться влияние кривизны Земли и рефракция.

Применение электронных тахеометров при выполнении тахеометрической съемки значительно повышает производительность труда, исключает ошибки наблюдателя при снятии отсчетов и записи результатов измерений, сокращает время на обработку и вычисление полевых наблюдений. Поэтому электронные тахеометры в последнее время находят самое широкое применение в геодезических работах, несмотря на их довольно высокую стоимость по сравнению с круговыми и номограммными тахеометрами.

1.4 Построение и уравнивание съёмочной сети при тахеометрической съёмке

В соответствии с принципом перехода от общего к частному тахеометрическая съёмка выполняется в **два этапа**. На **первом** этапе, на участке местности, подлежащей съёмке, создается опорная съёмочная сеть, а на **втором** этапе с точек этой съёмочной сети (съёмочного обоснования) выполняют непосредственно съёмку характерных точек ситуации и рельефа местности. Иногда эти два этапа выполняют одновременно.

На первом этапе для создания съёмочного обоснования тахеометрической съёмки на местности прокладывают опорные планово-высотные **ходы**. В зависимости от способов измерения расстояний и превышений различают следующие виды ходов: теодолитно-нивелирный, теодолитно-высотный и теодолитно-тахеометрический.

Теодолитно-нивелирный прокладывают для создания съёмочной сети при крупномасштабной съёмке (для масштабов 1:500 и 1:1000). Расстояние в таких ходах измеряют мерной лентой, а превышения – нивелиром методом геометрического нивелирования.

В *теодолитно-высотных* ходах расстояния измеряют мерной лентой, а превышения способом тригонометрического нивелирования. В *теодолитно-тахеометрических* ходах расстояния измеряют нитяным дальномером теодолита, а превышения – тригонометрическим нивелированием. Применяют теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы для составления планов масштабов 1:1000; 1:2000 и 1:5000.

По своей конфигурации все тахеометрические ходы бывают замкнутые и разомкнутые. Разомкнутые тахеометрические ходы прокладывают обычно при маршрутной съемке, когда снимается, по какому-либо направлению узкая полоса местности. Например, при изысканиях для строительства железных и автомобильных дорог, каналов, различных трубопроводов и других сооружений, имеющих вытянутую форму.

Если съемке подлежит сравнительно небольшой участок местности, то по его границе прокладывают замкнутый тахеометрический ход, а затем внутри него – диагональный ход, обеспечивающий сплошную съемку участка. На рисунке 1.5 приведены схемы замкнутого и разомкнутого теодолитно-тахеометрических ходов, причем разомкнутый ход проложен между исходными пунктами государственной геодезической сети (*A* и *B*).

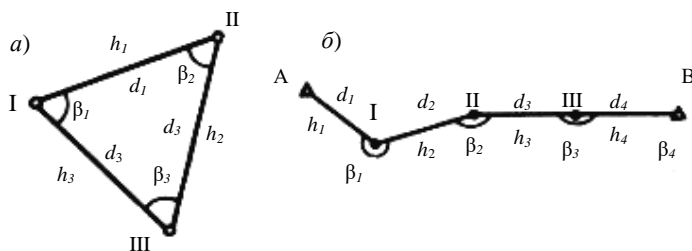


Рисунок 1.5 – Теодолитно-тахеометрические ходы:
a – замкнутый; *б* – разомкнутый .

Точки поворота этих ходов служат станциями для съемки окружающей ситуации и рельефа местности. Прокладка ходов состоит в выборе и закреплении точек хода, измерении углов поворота и длин сторон и в определении превышений между точками хода.

Точки поворота тахеометрических ходов выбирают с учетом их взаимной видимости и обзора для съемки окружающей местности. Длины тахеометрических ходов, число сторон и их длина в ходе не должны превышать, в зависимости от масштаба съемки, величин, указанных в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристика тахеометрического хода

| Показатель | Масштабы съемки |
|------------|-----------------|
|------------|-----------------|

| | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-------|
| | 1:5000 | 1:2000 | 1:1000 | 1:500 |
| Предельная длина хода, м | 1200 | 600 | 300 | 100 |
| Максимальное число сторон в ходе | 6 | 5 | 3 | 2 |
| Предельная длина стороны, м | 300 | 200 | 150 | 100 |

Закрепление вершин тахеометрических ходов выполняют временными знаками (кольшками, столбами, металлическими штырями и т. д.).

Последовательность работ на станции при проложении теодолитно-тахеометрических ходов следующая. Измеряют:

- высоту прибора;
- по нитяному дальномеру расстояние между станциями хода;
- полным приемом при круге лево (КЛ) и при круге право (КП) горизонтальные углы между направлениями на смежные станции;
- при КЛ и КП вертикальные углы.

Все результаты измерений записывают в журнал тахеометрической съемки. При обработке журнала вычисляют по отсчетам по вертикальному кругу значение места нуля (M_0) вертикального круга и углы наклона (v) в зависимости от модели теодолита-тахеометра. Например, для теодолитов 2Т30 и 2Т30П формулы для вычислений будут следующие:

$$M_0 = (КЛ + КП)/2;$$

$$v = КЛ - M_0 = M_0 - КП.$$

Затем, по тахеометрическим таблицам или на калькуляторе определяют величину горизонтальных проложений (d) и превышений над горизонтальным лучом (h'), используя для этого формулы (1.2) – (1.4). После этого по формуле (1.1) вычисляют превышения (h) между станциями тахеометрического хода.

Для каждой стороны хода проверяют разность между превышениями в прямом и обратном направлениях. Эти прямые и обратные превышения должны быть с противоположными знаками, а по абсолютной величине разности прямых и обратных превышений не должны превышать 4 см на 100 м расстояния. Аналогично прямые и обратные горизонтальные проложения не должны отличаться между собой более чем на 1:300 от длины стороны.

На основании обработанного журнала тахеометрической съемки составляют ведомость вычисления высот тахеометрического хода, в котором выполняют уравнивание превышений. Для этого с учетом прямых и обратных превышений находят средние превышения по каждой стороне тахеометрического хода, которые берут со знаком прямого превышения. Затем вычисляют невязку в превышениях для тахеометрического хода. Если ход разомкнутый (см. рисунок 1.5, б) невязку определяют по формуле

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_B - H_A), \quad (1.13)$$

где f_h – невязка в превышениях;

$\sum h_{\text{ср}}$ – сумма средних превышений по всему ходу;

H_B и H_A – соответственно высоты конечной и начальной точек хода.

Для замкнутого хода

$$f_h = \sum h_{\text{ср}}, \quad (1.14)$$

так как в замкнутом ходе теоретическая сумма превышений должна равняться нулю.

Невязки, вычисляемые по формулам (1.13) и (1.14) не должны превышать допустимой величины

$$f_{\text{доп}} = 0,04 \sum d / \sqrt{n}, \quad (1.15)$$

где $\sum d$ – длина тахеометрического хода, выраженная в сотнях метров;

n – число сторон хода.

Если невязка допустима, то ее распределяют путем введения поправок в средние превышения:

$$v_i = - (f_h / \sum d) d_i, \quad (1.16)$$

где v_i – значение поправки в i -е превышение;

d_i – длина i -й стороны.

То есть поправку в превышения берут со знаком, обратным невязке и пропорционально длинам сторон. Контроль: суммы поправок должны равняться невязке с обратным знаком.

С учетом поправок находят исправленные превышения

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{ср}} + v_i. \quad (1.17)$$

Контроль: сумма исправленных превышений в замкнутом ходе должна равняться нулю, а в разомкнутом – разности высот конечной и начальной точек хода.

Высоты станций тахеометрического хода определяют по формуле

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{испр}}, \quad (1.18)$$

где $H_{\text{посл}}$ и $H_{\text{пред}}$ – соответственно высоты последующей и предыдущей станций хода.

В конце вычислений по формуле (1.18) для замкнутого хода должны получить высоту начальной точки, а для разомкнутого хода – высоту конечной точки хода.

Для вычисления плановых координат (X и Y) станций тахеометрического хода выполняют уравнивание углов и приращений координат. Для этого используют те же формулы, как и в теодолитном ходе.

При этом относительная невязка хода при измерении линий нитяным дальномером не должна быть больше $1/500$, а при измерении линий мерной лентой – не более $1/2000$ для благоприятной местности и $1/1000$ – для неблагоприятной (пашня, высокая трава и т. д.).

Образцы вычислений координат и высот теодолитного и тахеометрического ходов и соответствующие ведомости приведены подробно в методических указаниях для выполнения лабораторных и расчетно-графических работ.

1.5 Производство тахеометрической съемки. Журнал и абрис

Съемка ситуации и рельефа местности может выполняться или после создания съемочной сети, или одновременно с прокладкой тахеометрического хода.

На каждой станции производят осмотр местности, подлежащей съемке, и намечают речные или пикетные характерные точки ситуации и рельефа местности. Характерные точки ситуации выбирают так же, как и при теодолитной съемке, т. е. на границах земельных угодий, точках поворота дорог, линий электропередач, связи, углах зданий и сооружений и других объектах местности.

Чтобы снять рельеф местности вокруг станции, назначают высотные точки. Их определяют во всех характерных точках и линиях рельефа, т. е. на вершинах и подошвах холмов, дне и бровке котловин, водоразделе хребтов, водосливе лощин и перевале седловин, урезах воды водоемов и других характерных точках рельефа. При этом между соседними высотными точками должны образовываться равномерные скаты местности для правильного интерполирования по ним горизонталей. Например, на рисунке 1.6 характерные точки рельефа показаны номерами 1–18.

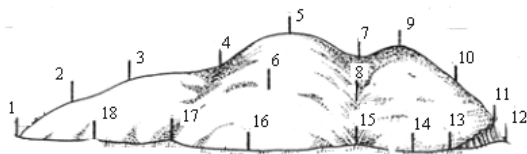


Рисунок 1.6 – Выбор характерных точек рельефа

Чтобы обеспечить точность съемки, расстояния между соседними речными точками (пикетами) не должны превышать 15 м для масштаба 1:500 и 60–80 м для масштаба 1:5000, а расстояния от теодолита-тахеометра до речной точки берут не более 100 м для масштаба 1:500 и 300 м для масштаба 1:5000. Некоторые речные точки могут быть одновременно характерными и для ситуации местности, и для рельефа. Характерные речные точки кольшками не закрепляют.

Если съемка местности производится после проложения теодолитно-тахеометрического хода, то работу на станции выполняют в следующем

порядке. Устанавливают теодолит-тахеометр над точкой хода в рабочее положение, измеряют высоту прибора с помощью рейки или рулетки и записывают ее в *журнал тахеометрической съемки*. Затем при круге лево ориентируют лимб тахеометра на заднюю или переднюю точку хода, т. е. устанавливают на лимбе отсчет $0^{\circ}00'$ и вращением лимба наводят визирную ось трубы на заднюю или переднюю точку хода. Лимб закрепляют и приступают к съемке реечных точек вокруг данной станции.

Съемка выполняется следующим образом. При круге лево вращением алидады наводят зрительную трубу теодолита на каждую пикетную точку и берут отсчеты по дальномеру, горизонтальному и вертикальному кругам. При снятии отсчетов по вертикальному кругу средний штрих сетки нитей теодолита-тахеометра наводят обычно на высоту прибора. Если контурная реечная точка не характерна для съемки рельефа и измеренные расстояния не требуется приводить к горизонту, то отсчет по вертикальному кругу не снимают и угол наклона не измеряют. После съемки всех реечных точек с данной станции зрительную трубу снова наводят на заднюю или переднюю точку хода, чтобы убедиться в неподвижности лимба, при этом отсчет по горизонтальному кругу должен оставаться $0^{\circ}00'$ в пределах двойной точности отсчетного устройства теодолита-тахеометра.

По окончании работы на данной станции переходят с тахеометром на следующую станцию и производят работу в том же порядке.

В равнинных местах превышения на реечные точки можно определять горизонтальным лучом, пользуясь тахеометром как нивелиром.

Если тахеометрическую съемку выполняют одновременно с прокладкой тахеометрического хода, то при визировании на заднюю и переднюю, точки хода со станции отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам и расстояния по дальномеру измеряют дважды, при круге право (КП) и круге лево (КЛ).

Все данные измерений при тахеометрической съемке заносят в журнал тахеометрической съемки. Форма журнала приведена в соответствующих заданиях. Порядок обработки журнала следующий. По отсчетам по вертикальному кругу вычисляют углы наклона на каждую реечную точку по формуле (для теодолита 2Т30)

$$v = \text{КЛ} - \text{М0}.$$

Затем по формулам (1.2)–(1.4), используя тахеометрические таблицы или калькулятор, вычисляют горизонтальные проложения (d) и превышение (h') над горизонтальным лучом. Учитывая, что высота визирования по рейке равна высоте прибора (то есть $v = i$), то превышение $h = h'$. Записывают его в соответствующую графу с учетом знака

18

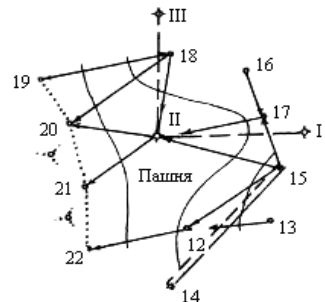


Рисунок 1.7 – Абрис съемки со станции II

превышения. Высоты реечных точек вычисляют по формуле

$$H = H_{\text{ст}} + h, \quad (1.19)$$

где $H_{\text{ст}}$ – высота станции;

h – превышение с данной станции на реечную точку.

Кроме журнала измерений на каждой станции составляют абрис съемки (рисунок 1.7.) (кроки), на котором показывают расположение и номера станций и реечных точек, указывают направления скатов и схематически показывают отдельные формы рельефа горизонталями, а также указывают все снятые контура ситуации. Пример выполнения абриса показан на рисунке 1.7. Журнал и абрис являются основными документами для составления плана тахеометрической съемки.

1.6 Составление плана тахеометрической съемки

План тахеометрической съемки строят по координатам вершин теодолитно-тахеометрического хода или по горизонтальным проложениям и дирекционным углам его сторон. Поскольку построение хода по координатам было рассмотрено при составлении плана теодолитной съемки, то рассмотрим **способ построения плана по дирекционным углам и горизонтальным проложениям сторон.**

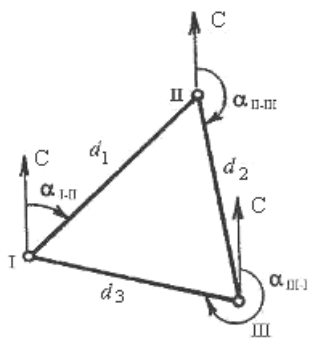


Рисунок 1.8 – Построение точек хода

В качестве примера рассмотрим построение точек замкнутого хода (рисунок 1.8). Для этого на листе чертежной бумаги выбирают положение начальной станции тахеометрического хода с таким расчетом, чтобы другие станции и реечные точки разместились в пределах листа чертежной бумаги. Через точку I проводят вертикальную линию, параллельную краю листа бумаги и принимают ее за направление осевого меридиана (направление севера). Затем с помощью транспортира строят дирекционный угол линии I – II и на полученном направлении откладывают в масштабе горизонтальное проложение стороны I – II. Получают положение точки II на плане. Затем через точку II проводят линию, параллельную осевому меридиану (северу), и от нее откладывают дирекционный угол линии II – III, прочерчивают направление, на котором в масштабе плана откладывают горизонтальное проложение расстояния до станции III. Построением дирекционного угла линии III – I контролируют правильность положения станций тахеометрического хода. Для этого откладывают на плане расстояние между точками III и I, полученная при этом невязка в

несовпадении станции I не должна превышать величины $f_d = 1/300 \Sigma d$, где Σd – периметр (сумма длин сторон) тахеометрического хода.

Если невязка допустима, то ее распределяют графически методом параллельных линий, рассмотренном при составлении планов теодолитной съемки (см. часть I пособия). Затем производят накладку реечных точек с помощью измерителя, масштабной линейки и транспортира полярным способом.

Транспортир совмещают нулевым диаметром с линией, по которой производилось ориентирование лимба, и намечают по горизонтальным углам направления на реечные точки. Отложив от станции по этим направлениям соответствующие горизонтальные расстояния, получают положение реечных точек и около каждой из них выписывают ее номер (в числителе) и высоту (в знаменателе). Далее, руководствуясь абрисом (кроки), наносят ситуацию местности. По высотам станций и реечных точек производят построение горизонталей, используя для этого графическое интерполирование с помощью прозрачной палетки по тем линиям, которые в абрисе показаны стрелками.

Полученные горизонтали обводят тонкими линиями светло-коричневого цвета. Высоты горизонталей подписывают в разрыве так, чтобы верх цифры был обращен к вершине ската. Горизонтали, кратные увеличенной в пять раз высоте сечения рельефа, следует утолстить в 2,5 раза. На плане оформляют направление осевого меридиана и под нижней рамкой плана указывают численный масштаб плана и высоту сечения рельефа. Составленный план сверяют с местностью и после корректуры окончательно оформляют его в условных топографических знаках.

1.7 Автоматизация тахеометрической съемки

С появлением электронных тахеометров стало возможным автоматизировать процесс измерений и вычислений при выполнении тахеометрической съемки. Для этого **электронный тахеометр** устанавливают на станции тахеометрического хода, а на реечные точки (пикеты) устанавливают последовательно вешку со светоотражателем вместо рейки. При наведении электронным тахеометром на отражатель в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, расстояния на заднюю и переднюю точки хода и пикеты.

С помощью микроЭВМ тахеометра выполняется обработка результатов измерений, в результате которой получают приращения координат и превышения на смежные точки тахеометрического хода и снятые реечные точки. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство тахеометра (накопитель информации) или переписаны на флэш-карту.

В дальнейшем из запоминающего устройства или флэш-карты информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе

производит уравнивание тахеометрического хода и вычисление координат и высот станций и пикетов. По полученным данным с помощью графопостроителя, соединенного с ЭВМ, осуществляется графическое построение топографического плана тахеометрической съемки.

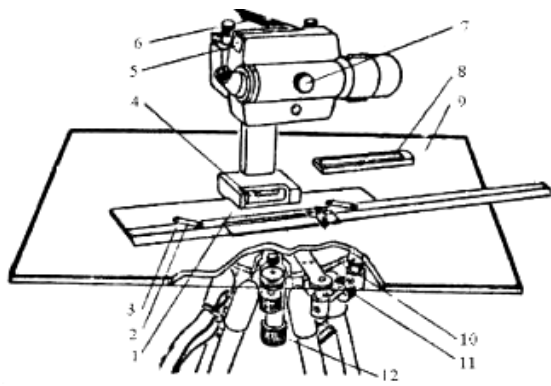
Другим способом совершенствования и автоматизации тахеометрической съемки является **применение методики, при которой отпадает необходимость во взаимной видимости между смежными точками тахеометрического хода**, что приводит к уменьшению числа станций на снимаемой территории. В этом случае для связи двух соседних станций тахеометрического хода используются общие с в я з у ю щ и е т о ч к и, которые необходимо снять с обеих станций электронным тахеометром. Определив координаты и высоты этих связующих точек с первой стоянки тахеометра можно через них определить координаты и высоты точек второй стоянки тахеометра в единой для двух стоянок системе координат и высот. Таким образом, опорная съемочная сеть может быть создана без специального проложения теодолитно-тахеометрического хода в процессе выполнения тахеометрической съемки.

Мощным средством автоматизации тахеометрической съемки является **применение современных программных комплексов для обработки результатов измерений**. Такие комплексы позволяют решать все необходимые задачи для получения топографического плана съемки в электронном виде, что делает возможным создание безбумажной технологии в геодезии. Наиболее распространенным программным комплексом для изысканий и проектирования инженерных сооружений является «*CREDO DIALOGUE*» в результате применения, которого можно получить цифровую модель местности. Подробно системы этого комплекса были рассмотрены в разделе «Теодолитная съемка».

2 МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

2.1 Мензула, ее устройство, поверки и принадлежности

Мензульная съемка представляет собой *графический способ съемки для получения топографического плана местности*. Горизонтальные углы при мензульной съемке не измеряют, а строят на плане графически, поэтому эту съемку часто называют углоначертательной. Производится мензульная съемка при помощи мензулы и кипрегеля (рисунок 2.1).



- 1 – линейка основная;
- 2 – шарнир; 3 – линейка дополнительная; 4 – уровень;
- 5 – уровень трубы;
- 6 – зеркало уровня;

- 7 – фокусирующее устройство;
 8 – буссоль; 9 – планшет;
 10 – диск; 11 – наводящее устройство мензулы;
 12 – закрепительное устройство мензулы

Рисунок 2.1 – Кипрегель КН

Мензула представляет собой чертежный столик и состоит из мензульной доски или планшета и подставки, соединяющей планшет со штативом. Подставки бывают деревянные и металлические. На подставке расположены закрепительный и наводящий винты, при помощи которых планшет может вращаться вокруг вертикальной оси. Для приведения планшета в горизонтальное положение используют три подъемных винта при подставке мензулы и цилиндрический уровень на линейке кипрегеля. Для надежной и правильной работы мензулы необходимо выполнение следующих условий, которые проверяют во время проведения проверок мензулы.

Проверки мензулы:

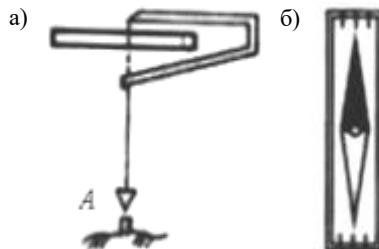
1 *Мензула должна быть устойчива.* Установив мензулу и закрепив планшет, наводят трубу кипрегеля на удаленную точку местности и делают рукой легкие нажимы в разных частях планшета. Если мензула пружинит, и центр сетки нитей кипрегеля вновь совпадает с точкой, то мензула достаточно устойчива.

2 *Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью.* Если выверенная линейка, прикладываемая ребром на планшет в разных направлениях, не дает просветов, то условие считается выполненным. Обычно для этой проверки используют скошенный край линейки кипрегеля.

3 *Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы.* Пользуясь выверенным уровнем при линейке кипрегеля, приводят планшет с помощью подъемных винтов в горизонтальное положение. Затем вращают планшет вокруг горизонтальной оси и наблюдают за пузырьком уровня. Он не должен отклоняться от нуля-пункта более чем на два деления.

Если в процессе проверок обнаруживается невыполнение хотя бы одного из перечисленных условий, то неисправности мензулы устраняют в мастерской.

В качестве принадлежностей к мензуле придается центрировочная вилка и ориентир – буссоль. Установочная вилка (рисунок 2.2, а) служит для центрирования мензулы, то есть для установки точки *a* планшета над точкой (*A*) местности. Ориентир-буссоль (рисунок 2.2, б) служит для ориентирования планшета



относительно северного направления магнитного меридиана. Мензульная буссоль должна удовлетворять условиям, предъявляемым к обычной буссоли.

2.2 Устройство и проверки кипрегеля

Кипрегель служит для визирования на точки местности, прочерчивания направлений, измерения вертикальных углов, расстояний и превышений.

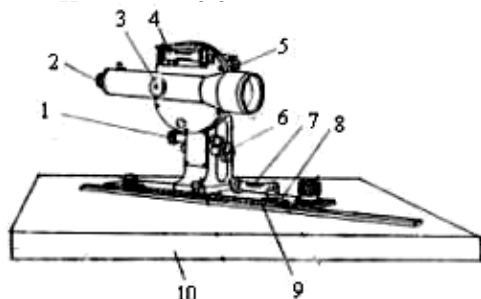


Рисунок 2.3 – Кипрегель КА-2

кипрегеля КА-2.

- 1 – наводящее устройство трубы;
- 2 – окуляр;
- 3 – фокусирующее устройство;
- 4 – уровень при трубе;
- 5 – уровень при алидаде вертикального круга;
- 6 – винт уровня при алидаде вертикального круга;
- 7 – цилиндрический уровень;
- 8 – основная линейка;
- 9 – дополнительная линейка;
- 10 – мензульная доска

Основными частями кипрегеля являются зрительная труба с вертикальным кругом, колонка и металлическая линейка с уровнем. Труба кипрегеля может вращаться вокруг своей оси и снабжена закрепительным и наводящим винтами. При алидаде вертикального круга имеется уровень и микрометрический винт для установки этого уровня в нульпункт.

В настоящее время для производства мензульной съемки обычно используют кипрегели-автоматы, которые позволяют непосредственно по рейке отсчитывать горизонтальные проложения и превышения. К ним относятся кипрегели КА-2 (кипрегель-автомат) и КН (кипрегель номограммный). В этих кипрегелях на стеклянном вертикальном круге кроме градусных делений нанесены специальные кривые (номограммы) расстояний и превышений, рассчитанные по формулам, как и при тахеометрической съемке:

$$d = D \cdot \cos^2 v; \quad h' = d \cdot \operatorname{tg} v \quad \text{или} \quad h' = 0,5D \cdot \sin 2v,$$

где d – горизонтальное проложение;

v – угол наклона (вертикальный угол);

D – наклонное расстояние;

h' – превышение над горизонтальным лучом.

На рисунках 2.4 и 2.5 показано поле зрения кипрегелей-автоматов КА-2 и КН соответственно. У кипрегелей КА-2 имеется основная кривая, кривая горизонтальных проложений с коэффициентом $K_d = 100$ и шесть кривых

превышений с коэффициентами $K_h = +10, +20, +100$ (положительные) и $K_h = -10, -20, -100$ (отрицательные). У кипрегеля КН имеется основная кривая, две кривых горизонтальных проложений с коэффициентами $K_d = 100$ и 200 , а также шесть кривых превышений с коэффициентами $K_h = +10, +20, +100$.

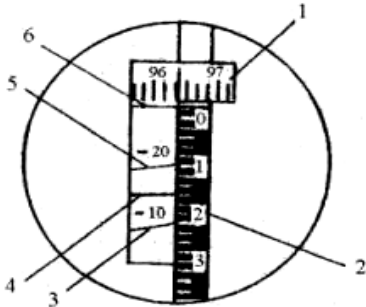


Рисунок 2.4 – Поле зрения кипрегеля КА-2:
1 – шкала вертикального круга; 2 – рейка;
3, 5 – номограммы превышений; 4 –
номограмма горизонтальных проложений; 6
– основная кривая

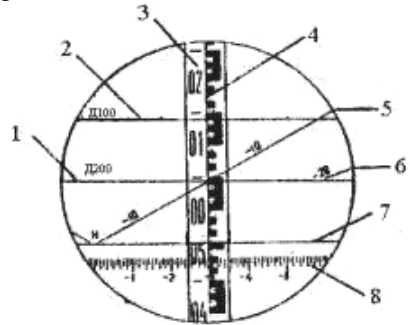


Рисунок 2.5 – Поле зрения кипрегеля КН:
1, 2 – номограммы горизонтальных
проложений; 3 – рейка; 4 – вертикальный
штрих; 5, 6 – номограммы превышений; 7 –
основная кривая; 8 – шкала вертикального

Для определения горизонтального проложения и превышения наводят основную кривую на нуль рейки, установленный на высоте прибора, приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга в нульпункт микрометрическим винтом, отсчитывают по рейке число сантиметров от основной кривой до кривой горизонтальных проложений и превышений и умножают этот отсчет на соответствующий коэффициент кривой. Например, для кипрегеля КА-2 на рисунке 2.4 горизонтальное проложение и превышение составят:

$$d = 18,3 \text{ см} \cdot 100 = 1830 \text{ см} = 18,3 \text{ м};$$

$$h = 24,5 \text{ см} \cdot (-10) = -245 \text{ см} = -2,45 \text{ м};$$

$$h = 12,5 \text{ см} \cdot (-20) = -240 \text{ см} = -2,45 \text{ м}.$$

При вычислениях более высокую точность дают отсчеты по кривым с меньшим коэффициентом. Аналогично для кипрегеля КН на рисунке 2.5 горизонтальное проложение и превышение будут:

$$d = 18,9 \text{ см} \cdot (100) = 1890 \text{ см} = 18,9 \text{ м};$$

$$d = 9,4 \text{ см} \cdot (200) = 1880 \text{ см} = 18,8 \text{ м};$$

$$h = 9,5 \text{ см} \cdot (-10) = 950 \text{ см} = 0,95 \text{ м}.$$

Поверки кипрегеля. Чтобы убедиться в правильности работы кипрегеля, выполняют проверку соответствия его геометрических осей. Эти действия называют поверкой кипрегеля. Кипрегель должен удовлетворять следующим условиям:

1 *Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией, а ее нижняя поверхность – плоскостью.* Проводят вдоль линейки кипрегеля тонкую линию, затем поворачивают кипрегель на 180° , прикладывают линейку к этой линии и повторно прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки. Если обе линии совпадут, то условие выполнено. Поверка нижней плоскости производится установкой кипрегеля на планшет. Линейка должна плотно прилегать к нему. В случае невыполнения этих условий кипрегель отдают в ремонт.

2 *Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки* (аналог первой поверки теодолита). Ставят кипрегель по направлению двух подъемных винтов и приводят ими пузырек уровня в нульпункт. Отмечают положение линейки черточками у ее концов и переставляют кипрегель на 180° . Если пузырек уровня сойдет с нульпункта, то исправительными винтами уровня перемещают его к середине на половину дуги отклонения. Поверку повторяют.

3 *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы* (аналог второй поверки теодолита). Наводят зрительную трубу кипрегеля на хорошо видимую точку и прочерчивают вдоль скошенного края линейки кипрегеля линию. Затем переводят трубу через зенит, поворачивают кипрегель на 180° и совмещают скошенный край линейки с прочерченной линией, при этом сетка нитей кипрегеля должна быть наведена на точку. Если изображение точки смещается в сторону, то коллимационная погрешность трубы равна половине этого смещения. Для исправления поверки боковыми исправительными винтами сетки нитей перемещают перекрестие сетки нитей на половину смещения и поверку повторяют.

4 *Ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки* (аналог третьей поверки теодолита). Устанавливают мензулу в 20–30 м от высокого здания, горизонтируют планшет и наводят трубу кипрегеля при круге лево на высокорасположенную точку здания. Затем опустив трубу, отмечают на стене проекцию этой точки на уровне высоты прибора. Переводят трубу через зенит и продельывают те же действия. При этом перекрестие сетки нитей должно проектироваться в ранее отмеченную точку. Это условие обычно гарантируется заводом-изготовителем.

5 *Вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к оси вращения трубы* (аналог четвертой поверки теодолита). Наводят перекрестие сетки нитей трубы кипрегеля на точку и, медленно вращая

трубу. следят за изображением точки в поле зрения трубы. Если при этом вертикальный штрих сетки нитей не будет сходиться с изображением точки, то условие выполнено. В противном случае нужно повернуть сеточное кольцо и поверку повторить.

6 *Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный линейки кипрегеля или быть ему параллельной.* Наводят трубу на точку и вдоль скошенного края линейки кипрегеля прочерчивают линию. У концов этой линии устанавливают вертикально две иглы и визируют через них. Если наблюдаемая точка окажется в створе игл, то условие поверки выполнено. Несоблюдение этого условия не будет влиять на точность построения углов, если визирование и прочерчивание направлений производить при одном положении круга (обычно при круге лево). Ошибка будет действовать только на ориентирование планшета.

7 *Место нуля вертикального круга кипрегеля КА-2 должно быть близким к 90° , а кипрегеля КН – близким к 0° .* Определяют место нуля вертикального круга из наблюдений, измеряя вертикальные углы на несколько точек при КЛ и КП по формулам:

$$\text{а) для кипрегеля КА-2} - M_0 = (КЛ + КП - 180^\circ) / 2; \nu = M_0 - КЛ; \\ \nu = (КП - 180^\circ) - M_0;$$

$$\text{б) для кипрегеля КН} - M_0 = (КП - КЛ) / 2; \nu = КП - M_0; \\ \nu = КЛ + M_0.$$

Колебание места нуля на реечные точки не должно превышать двойной точности отсчета. Если место нуля у кипрегеля КА-2 будет отклоняться от 90° , а у кипрегеля КН – от 0° более чем на $\pm 2'$, то вращением трубы устанавливают отсчет на вертикальном круге, равный M_0 . Пузырек уровня при алидаде вертикального круга при этом должен быть в нульпункте. Затем микрометрическим винтом алидады вертикального круга устанавливают отсчеты, равные $90^\circ 00'$ – для кипрегеля КА-2 или $0^\circ 00'$ – для кипрегеля КН. В этот момент пузырек уровня при алидаде вертикального круга сойдет с нульпункта, и тогда исправительными винтами этого уровня вновь приводят его в нульпункт. Поверку повторяют.

Примечание – Во время выполнения поверки места нуля и во время полевых работ при снятии отсчетов по вертикальному кругу и кривым расстояний и превышений необходимо не забывать всегда микрометрическим винтом приводить пузырек уровня при алидаде вертикального круга в нульпункт.

2.3 Установка мензулы на станции.

Прямая и обратная мензульные засечки

Установка мензулы на станции состоит из трех действий: центрирования, горизонтирования, ориентирования.

Центрирование планшета при съемке в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500 производится с помощью центрировочной вилки, а при масштабах 1:5000 и мельче центрирование выполняют на глаз, так как допустимая ошибка центрирования не должна превышать половины точности масштаба, то есть

$$t_{1:5000} = 0,1 \text{ мм} \cdot M = 0,1 \text{ мм} \cdot 5000 = 500 \text{ мм} = 50 \text{ см},$$

где M – знаменатель масштаба.

Тогда ошибка центрирования $t_{\text{центр}} = 0,5 \cdot 50 \text{ см} = 25 \text{ см}$. С такой ошибкой точку на планшете можно отцентрировать на глаз.

Горизонтирование планшета производится при помощи уровня на линейке кипрегеля и трех подъемных винтов на подставке. Для горизонтирования мензулы устанавливают кипрегель по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят пузырек уровня в нульпункт. Затем переставляют кипрегель на 90° (по направлению третьего подъемного винта) и, действуя этим винтом, также приводят пузырек уровня в нульпункт. Эти действия повторяют несколько раз, пока при перестановке кипрегеля пузырек уровня не будет оставаться в нульпункте.

Ориентирование планшета может производиться при помощи ориентир-буссоли или по линии местности, нанесенной на планшет.

Для ориентирования планшета с помощью ориентир-буссоли ее устанавливают параллельно одной из рамок планшета. Затем открепляют закрепительный винт подставки и вращают планшет вокруг вертикальной оси до тех пор, пока магнитная стрелка ориентир-буссоли не установится против нулевых делений шкалы буссоли. После этого вдоль нижнего ребра коробки буссоли прочерчивают направление на листе бумаги «север – юг» и закрепляют закрепительный винт подставки мензулы.

Для ориентирования мензулы по линии на планшете надо приложить к ней скошенный край линейки кипрегеля и поворачивать планшет вокруг своей оси до тех пор, пока вежа, установленная в точке (B) местности, не окажется в коллимационной плоскости кипрегеля. В этом положении линия ab на планшете будет совмещена со створом линии AB местности. Ориентирование тем точнее, чем длиннее линия на планшете. Так при длине линии в 7 см ошибка в ориентировании будет не более $5'$.

Прямая и обратная мензульные засечки. Они применяются для определения планового положения точек съемочной сети и отдельных точек местности. Для решения этих задач на планшете должно быть нанесено положение двух данных точек местности, по которым можно определить на планшете положение любой третьей точки.

Прямая засечка. Пусть на планшете даны точки a и b , соответствующие точкам A и B

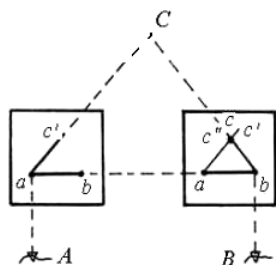


Рисунок 2.6 – Прямая засечка

местности (рисунок 2.6). Требуется нанести на планшет точку C . Для этого устанавливают мензулу в точке A , центрируют, горизонтируют и ориентируют планшет по линии ab . Затем визируют кипрегелем через точку A планшета на точку C местности и прочерчивают направление ac' . После этого переходят с мензулой в точку B местности, где ее устанавливают и ориентируют по линии ba . Приложив скошенный край линейки кипрегеля к точке b планшета, визируют через нее на точку C местности и прочерчивают направление bc' . Пересечение прочерченных на планшете направлений дает искомую точку c , соответствующую точке C местности.

Обратная засечка. Она применяется в том случае, когда одна из исходных точек местности недоступна для установки мензулы, например точка B (рисунок 2.7). В этом случае устанавливают мензулу в доступной точке A , ориентируют ее по линии ab планшета и визируют через точку a планшета на точку C местности, прочерчивают линию ac' .

Затем переходят в определяемую точку C . Устанавливают над ней мензулу, центрируют ее по приближенно намеченной точке c на линии ac' и ориентируют по линии $c'a$, визируя через точку b планшета на точку B местности по скошенному краю линейки кипрегеля. Короткой черточкой проводят линию bc' назад до пересечения с линией ac' .

Точка c пересечения линий bc' и ac' и будет соответствовать точке C местности. Точность определения точек засечками зависит от угла засечки. Лучшей считается засечка под углом 90° (прямой угол). Засечки под углами менее 30° и более 150° не допускаются.

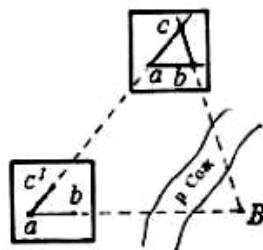


Рисунок 2.7 – Обратная засечка

2.4 Плановое и высотное обоснование мензульной съемки. Геометрическая сеть

Производство мензульной съемки, как и любой другой съемки местности, выполняется в **два этапа**. На первом этапе на местности создается съёмочная сеть (съёмочное обоснование), а на втором этапе с точек съёмочной сети производится непосредственно съемка ситуации и рельефа местности.

Рассмотрим **первый этап** мензульной съемки. В зависимости от размера территории и условий местности съёмочное обоснование может создаваться аналитическим или графическим способами. К *аналитическим способам* относят прокладку теодолитных ходов и сетей микротриангуляции. Аналитический способ используют при съемке больших территорий. Если съемке подлежит небольшой участок местности, то съёмочная сеть может быть создана *графическим способом* с помощью построения геометрической сети или проложения мензульных ходов.

Геометрическая сеть – сеть опорных точек, полученных на планшете при помощи засечек. Она может строиться на основе пунктов аналитической сети или на основе измеренного базиса. При построении геометрической сети на основе базиса его выбирают обычно в середине снимаемого участка на ровном открытом месте и дважды измеряют мерной лентой или рулеткой.

Длину базиса берут такой, чтобы на плане он изображался отрезком не менее 5 см. Вокруг базиса намечают равномерно по всему участку точки геометрической сети, которые закрепляют кольшками и устанавливают на них вешки. Обычно точки геометрической сети выбирают на возвышенных местах с учетом взаимной видимости и хорошего обзора местности. Затем на планшете намечают точку базиса I (рисунок 2.8) с таким расчетом, чтобы снимаемый участок изобразился в центральной части планшета.

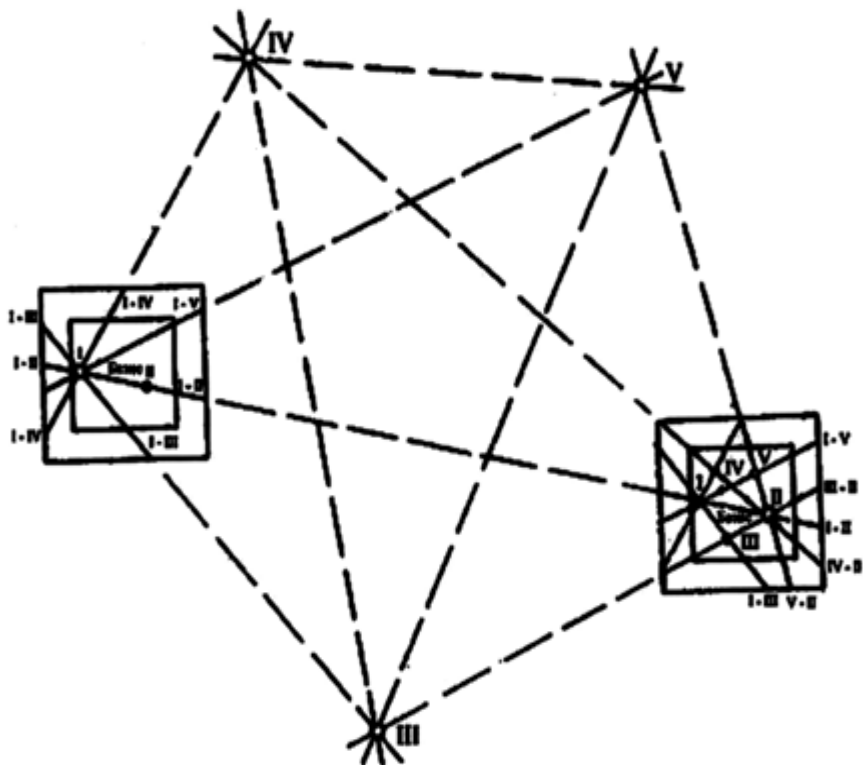


Рисунок 2.8 – Построение геометрической сети

Устанавливают мензулу на точке I в рабочее положение (центрируют ее, горизонтируют и ориентируют по буссоли) и, приложив скошенный край

линейки кипрегеля к начальной точке I, визируют и прочерчивают направление на конечную точку базиса II. Вдоль полученного направления откладывают длину базиса в масштабе съемки и получают точку II базиса. Затем через точку I при круге лево визируют и прочерчивают направление на все видимые точки геометрической сети (на рисунке 2.8 это точки III–V).

После этого переходят на точку II базиса, центрируют и горизонтируют планшет и ориентируют его по линии II – I. Визируют кипрегелем через точку II планшета на все соседние точки геометрической сети и прочерчивают соответствующие направления. Пересечения направлений на точках III – V обводят карандашом и переходят на одну из определяемых точек, например на точку III. Установив мензулу в этой точке, ориентируют ее по линии III – I и проверяют правильность определения точки III по линии III – I. С точки III визируют и прочерчивают направления на точки IV и V. Каждую точку геометрической сети получают пересечением не менее трех направлений, при этом сторона полученного треугольника погрешности не должна превышать 0,4 мм. Точку пересечения направлений накальвают, обводят окружностью диаметром 1,5 мм и подписывают ее номер.

Определение высот точек геометрической сети. Для нахождения высот точек геометрической сети определяют превышение методом тригонометрического нивелирования в прямом и обратном направлениях по сторонам образующим треугольники. Превышения h определяют по формуле (рисунок 2.9)

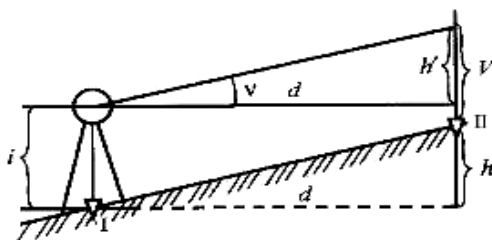


Рисунок 2.9 – Тригонометрическое нивелирование

$$h = h' + i - v, \quad (2.1)$$

где h' – превышение над горизонтальным лучом;

i – высота прибора;

v – высота наведения,

$$h' = d \cdot \operatorname{tg} v; \quad (2.2)$$

v – вертикальный угол на верх вешки или рейки;

d – расстояние между точками геометрической сети, которое измеряют на планшете по масштабу плану.

Превышения определяют одновременно с построением точек геометрической сети. Для этого на каждой станции берут отсчеты при круге

лево и круге право по вертикальному кругу (КЛ и КП), по которым вычисляют место нуля и вертикальные углы на все видимые точки геометрической сети. Результаты измерений заносят в журнал, форма которого приведена в таблице 2.1 (для кипрегеля КА-2).

Таблица 2.1 – Образец журнала определения превышений точек геометрической сети

| № ст. I | H_o | |
|--------------|-------------------|---------|
| $d = 182,00$ | h_{cp} | +0,54 |
| № н.т. II | H | |
| +0°24' | v | +0°04' |
| 270°25' | КП | 270°04' |
| 90°01' | МО | 90°00' |
| 89°37' | КЛ | 89°56' |
| +1,27 | h' | +0,21 |
| 1,30 | i | 1,33 |
| 2,57 | $\Sigma = h' + i$ | 1,54 |
| 2,00 | v | 2,05 |
| +0,57 | h | -0,51 |

В журнал (таблица 2.1) записывают также высоту прибора и высоту вешек или реек, на которые производилось визирование. Затем по формулам (2.1) и (2.2) вычисляют превышения по каждой стороне сети в прямом и обратном направлениях. Расхождения между прямым и обратным превышениями не должны быть более 4 см на 100 м расстояния. Например, в таблице 2.1 для стороны I – II прямое превышение $h_{I-II} = +0,57$ м, а обратное превышение $h_{II-I} = -0,51$ м. Для расстояния $d = 182$ м допустимое расхождение составит 7 см, а получилось расхождение $(0,57 - 0,51) = 0,06$ м.

Если расхождение допустимо, то вычисляют среднее превышение, которое берут со знаком прямого превышения (в таблице 2.1 $h_{cp} = +0,54$ м). Средние превышения выписывают на схему сети и уравнивают методом сравнения невязок. Для этого в треугольниках полученной геометрической сети подсчитывают невязки в превышениях:

$$f_h = \Sigma h_{cp}. \quad (2.3)$$

Полученную невязку сравнивают с допустимой невязкой:

$$f_{доп} = 0,04 \Sigma d / \sqrt{n}, \quad (2.4)$$

где Σd – периметр треугольника в сотнях метров;

n – число сторон.

Если невязки допустимы, то их распределяют по следующему правилу: при различных знаках невязок в двух смежных треугольниках максимальную поправку вводят в среднее превышение по общей стороне, а

если знаки невязок одинаковы, в среднее превышение по общей стороне вводят минимальную поправку. Знаки поправок должны быть противоположными знаку невязки. С учетом поправок вычисляют уравненные превышения:

$$h_{\text{уравн}} = h_{\text{ср}} + V_h. \quad (2.5)$$

Высоты точек геометрической сети определяют по формуле

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{ур}}, \quad (2.6)$$

где $H_{\text{посл}}$ и $H_{\text{пред}}$ – высоты последующей и предыдущей точек.

Высоту исходной точки определяют из привязки к реперу сети высотной основы.

Другим графическим способом создания съемочного обоснования при мензурной съемке является проложение мензурных ходов. Схема построения таких ходов аналогична проложению теодолитно-высотных ходов при тахеометрической съемке и показана на рисунке 2.10. Однако горизонтальные углы в мензурных ходах не измеряют, а прочерчивают на планшете в виде направлений, вдоль которых откладывают расстояния измеренные кипрегелем-автоматом по кривой горизонтальных проложений. Превышения в мензурных ходах также измеряют кипрегелем-автоматом, используя соответствующие кривые превышений. Расстояния и превышения определяют дважды в прямом и обратном направлениях. Для контроля мензурные ходы прокладывают между исходными пунктами аналитической сети или в виде замкнутых полигонов. При этом линейная невязка не должна превышать 0,8 мм на плане. Высоты точек мензурных ходов вычисляют по уравненным превышениям, используя формулу (2.6) вычисления высот точек геометрической сети.

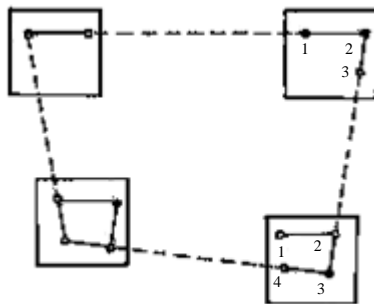


Рисунок 2.10 – Схема построения мензурного хода

2.5 Подготовка планшета. Съёмка ситуации и рельефа местности. Оформление плана мензурной съёмки

Мензурная съёмка выполняется на листах плотной чертежной бумаги, которую наклеивают на планшет перед выходом на полевые работы. Для уменьшения деформации бумаги ее иногда наклеивают на лист фанеры или алюминия, и эту жесткую основу прибивают к планшету латунными гвоздями. Затем на планшет наносят опорные пункты аналитической сети (триангуляции, полигонометрии, точки теодолитных ходов), а при их

отсутствии на планшете строят геометрическую сеть или прокладывают мензульные ходы.

После создания съемочного обоснования приступают к съемке ситуации и рельефа местности, которую выполняют обычно с точек опорной и съемочной сетей полярным способом.

Пусть мензула установлена в точке A местности, и с этой точки необходимо снять контур $BCDE$ (рисунок 2.11). Для этого в характерной точке B контура устанавливают рейку и, визируя кипрегелем через точку a планшета на точку B местности, определяют по кривой горизонтальных проложений расстояние до точки B и откладывают его циркулем вдоль скошенного края линейки кипрегеля. В результате получают на планшете точку b , соответствующую точке B местности.

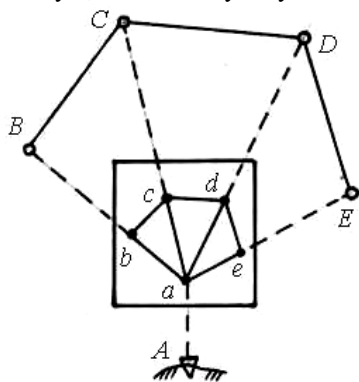


Рисунок 2.11 – Съемка ситуации

Затем, визируя кипрегелем на точки C , D , E местности, определяют положение этих точек на планшете. Соединив эти точки, получают контур $bcde$ на планшете, подобный контуру $BCDE$ местности. Аналогично снимают и другие точки вокруг станции A .

Если точки контуров являются характерными и в отношении рельефа местности, то на них кроме расстояния, измеряют еще и превышения по кривой превышений кипрегеля-автомата. Для этого начальную кривую кипрегеля при круге лево наводят на нуль рейки, установленной на высоте прибора,

приводят пузырек уровня алидады вертикального круга в нульпункт и делают отсчет по номограмме превышений с меньшим коэффициентом. Зная отметку станции и прибавив к ней измеренное превышение (с учетом знака превышения), получают отметки (высоты) речных точек. Эти отметки выписывают на планшете возле соответствующих наколов точек.

После получения отметок характерных точек рельефа местности вокруг станции, здесь же в полевых условиях, не сходя со станции, проводят горизонталь, используя при этом графический способ интерполирования с помощью кальки (восковки).

Интерполируют обычно линии с равномерными скатами местности, которые соединяют по характерным точкам рельефа. Все номера речных точек, расстояния до них, превышения и их высоты записывают в журнал мензульной съемки.

Расстояния от станции до речных точек не должны превышать в зависимости от масштаба съемки тех же величин, как и при

тахеометрической съемке. Например, для масштаба 1:1000 эти расстояния составляют 80–100 м, а расстояния между пикетами должны быть не более 30 м.

Иногда с точек съемочной сети не удается снять все точки ситуации и рельефа местности, поэтому для установки мензулы определяют дополнительные точки, которые называют переходными. Положение переходных точек можно определять засечками, полярным способом, прокладкой мензульных ходов и решением задачи Потенота, которая дает возможность определить положение четвертой (переходной) точки по трем данным. Она имеет много решений. Наиболее простым из них является способ Болотова. Для решения задачи по способу Болотова устанавливают мензулу в переходной точке M и прикрепляют к планшету лист кальки (прозрачной бумаги). Наметив на кальке произвольную точку m , визируют через нее на точки A, B и C местности и прочерчивают направления mA, mB, mC (рисунок 2.12, а). Открепив

прозрачную бумагу, передвигают ее по планшету, так чтобы прочерченные линии одновременно проходили через соответствующие точки a, b и c планшета. Достигнув этого, перекальчивают точку m на планшет. Это и будет

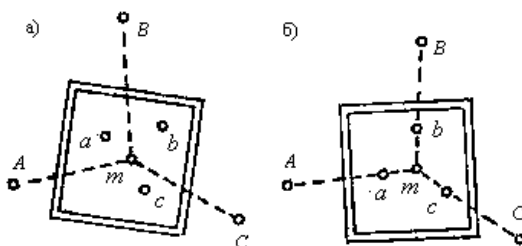


Рисунок 2.12– Решение задачи Потенота по способу Болотова

положение искомой точки, над которой стоит мензула (рисунок 2.12, б). Приложив скошенный край линейки кипрегеля к полученной точке и к одной из данных точек, ориентируют мензулу по линии и проверяют ориентирование по другим точкам. Измеряя превышения или углы наклона на точки A, B, C , определяют высоту станции. Расстояния при вычислении превышений можно определить по масштабу с планшета. Съемку ситуации и рельефа местности с переходных точек ведут так же, как и с точек съемочной или опорной сети.

В результате полевых работ, выполненных при мензульной съемке, получают план местности в карандаше. Иногда во время полевых работ ведут кальки контуров и высот, на которые переносят с планшета снятую ситуацию и отметки точек. Эти кальки помогают разрешить вопросы, возникающие в отдельных местах при оформлении плана.

План мензульной съемки оформляют с обязательным соблюдением условных топографических знаков для заданного масштаба. На плане

подписывают высоты всех опорных, съемочных и реечных точек, а также высоты утолщенных горизонталей. Горизонтали не проводят через изображение водоемов, рек, каналов, железных и автомобильных дорог и других искусственных сооружений. Достоинством мензульной съемки является возможность составления топографического плана на местности одновременно с производством измерений, что позволяет обнаружить и исправить ошибки в ходе съемки. К недостаткам мензульной съемки следует отнести громоздкость мензульного комплекта и зависимость работ от условий погоды.

3 НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

3.1 Нивелирование поверхности по квадратам

Нивелирование поверхности производят для получения топографического плана местности в крупных масштабах, а также для выполнения вертикальной планировки площадок. В зависимости от характера рельефа местности нивелирование поверхности может быть выполнено или путем нивелирования вершин построенной на местности сетки квадратов, или проложением теодолитных и нивелирных магистральных ходов с поперечниками.

Обычно нивелирование поверхности по квадратам применяют для равнинной местности, а нивелирование по магистралям с поперечниками используют при пересеченной местности с значительными углами наклона.

Наиболее распространенным способом нивелирования поверхности является нивелирование по квадратам. В этом способе на участке местности, намеченном под строительство, разбивают *сетку квадратов*. Длины сторон квадратов обычно берут от 20 до 200 м с таким расчетом, чтобы они на плане были равны 2–6 см. Вершины квадратов закрепляют точкой и сторожкой. На сторожке подписывают номер вершины квадрата, состоящий из обозначения двух линий, пересечение которых образует точку, например 1А, 2А, ..., 1Б, 2Б и т. д. (рисунок 3.1).

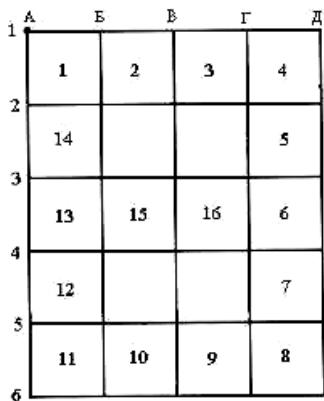


Рисунок 3.1 – Сетка квадратов

Сетку квадратов строят на местности при помощи теодолита и мерной ленты. Вначале разбивают наружный полигон 1А, 1Д, 6Б, 6А, для

чего в одной из вершин полигона, например 1А, устанавливают теодолит. Выбирают и закрепляют вехой исходное направление (например, 1А – 1Д), и от него под углом 90° строят направление 1А – 6А, по которому устанавливают веху. По полученным направлениям мерной лентой или рулеткой откладывают стороны квадратов заданной длины и закрепляют их кольшками. Затем теодолит переносят в точку 6А, откладывают от линии 6А – 1А прямой угол и устанавливают веху по направлению 6А – 6Д, вдоль которого отмеряют длины сторон квадратов. Для контроля разбивки производят измерение последней линии 1Д – 6Д, длина которой должна отличаться от теоретической не более чем на 1:1000 от периметра полигона. При соблюдении указанного допуска закрепляют вершины квадратов по линии 1Д – 6Д. Вершины квадратов, которые находятся внутри

полигона (2Б, 2В, 3Б и т. д.), находят и закрепляют на пересечении створов, выполняя промеры с вехи на веху. Например, с 2А на 2Д, с 3Д на 3А и т. д.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут *съёмку контуров* ситуации и предметов местности, привязывая их к вершинам квадратов. При наличии резких изменений уклонов на сторонах квадратов дополнительно закрепляют плюсовые точки, измеряя до них расстояния от ближайших вершин. Все данные съёмки заносят в абрис, в котором также показывают стрелками диагонали квадратов с неизменным уклоном местности.

Для определения высот вершин квадратов производят их нивелирование, которое выполняют или из середины каждого квадрата, или с нескольких станций с общими связующими точками.

При *нивелировании из середины каждого квадрата* устанавливают нивелир примерно в центре первого квадрата и берут отсчеты по черной стороне рейки, установленной на всех его вершинах. Потом аналогично нивелируют второй квадрат. Запись отсчетов ведут на схематическом чертеже (рисунок 3.2). Для контроля нивелирования во втором квадрате

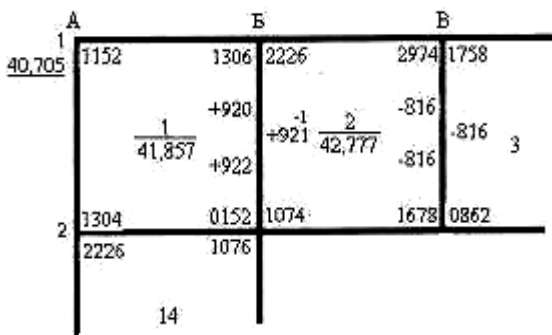


Рисунок 3.2 – Фрагмент журнала нивелирования поверхности по квадратам

вычисляют разности отсчетов по рейке на точках у стороны, смежной для обоих квадратов.

Это будут разности горизонтов нивелира на станциях в соседних квадратах. Расхождения между двумя значениями разностей допускается не более ± 6 мм. Например, на рисунке 3.2 у точки 1Б разность равна $2226 - 1306 = +920$ мм, а у точки 2Б – соответственно $1074 - 152 = +922$ мм. Если разности отсчетов на двух вершинах смежной стороны квадратов в допуске, то вычисляют среднюю разность горизонтов нивелира на двух станциях. Например, у общей стороны 1-го и 2-го квадратов средняя разность составит $(+920 + 922)/2 = +921$ мм, которую записывают в середине у смежной стороны (см. рисунок 3.2).

Затем переходят с нивелиром в центр третьего квадрата и аналогично находят разности горизонтов нивелира между третьим и вторым квадратами и т. д. Последовательность нивелирования квадратов показана на рисунке 3.1 порядковыми номерами. После нивелирования всех указанных квадратов подсчитывают сумму средних разностей по внешнему кольцу квадратов (1–14). Это будет невязка по замкнутому ходу. Она должна быть меньше величины

$$\pm 6 \text{ мм} \cdot \sqrt{n},$$

где n – число средних разностей.

Если невязка не более допустимой величины, то ее распределяют с обратным знаком поровну на все разности, и полученные поправки записывают над средними разностями. Затем по данным привязки к близлежащему реперу определяют высоту одной из вершин квадратов. Прибавляя к этой высоте отсчет по рейке на данной точке, получают горизонт нивелира на станции, с которой был взят отсчет по рейке. На рисунке 3.2 высота точки 1А из данных привязки равна 40,705 м. Тогда горизонт нивелира в первом квадрате будет равен $40,705 + 1,152 = 41,857$ м. Он записан под номером станции. Последовательно прибавляя к предыдущим горизонтам нивелира исправленные поправками средние разности (уравненные разности), получают горизонты нивелира на всех станциях внешнего контура квадратов. Например, горизонт нивелира во втором квадрате будет $41,857 + 0,920 = 42,777$ м и т. д.

В конце вычислений необходимо точно получить горизонт нивелира в первом квадрате, что является контролем правильности вычислений. Для этого к горизонту нивелира в 14-м квадрате прибавляют последнюю разность. Далее определяют невязку для внутреннего хода, проходящего от 6-й через 16-ю и 15-ю к 13-й станции (см. рисунок 3.1). Для этого от суммы средних разностей по внутреннему ходу вычитают разность горизонтов нивелира 13-го и 6-го квадратов. Если эта невязка допустима, то ее, аналогично замкнутому ходу, распределяют по внутреннему ходу и

вычисляют уравненные горизонты нивелира в 16-м и 15-м квадратах. При этом вычисления горизонтов нивелира начинают с 6-го квадрата, а заканчивают контрольным получением горизонта нивелира в 13-м квадрате.

Затем определяют высоты вершин квадратов как разность горизонта нивелира и отсчетов по рейке, взятых с данной станции. Например, высота вершины 1Б равна $41,857 - 1,306 = 40,551$ м. Высоту этой же вершины для контроля можно получить через горизонт нивелира второго квадрата, а именно: $42,777 - 2,226 = 40,551$ м. При этом допускается расхождение между полученными высотами до ± 3 мм. На рисунке 3.2 вычисленные высоты подчеркнуты у соответствующих вершин.

Если длины сторон квадратов небольшие, то их нивелирование можно выполнять с нескольких станций с общими связующими точками. Схема такого нивелирования показана на рисунке 3.3. Каждая станция 1, 2, 3 имеет связь с соседней через 2-3 связующие точки, показанные на рисунке черными точками. Направления на промежуточные вершины квадратов изображены пунктирными линиями. При нивелировании запись отсчетов по рейкам в этом случае ведут в обычном журнале.

Вычисление разности горизонтов нивелира по отсчетам на связующих точках, уравнивание этих разностей (при образовании замкнутого или разомкнутого хода), вычисление значений горизонтов нивелиров и по ним высот вершин квадратов производят аналогично тому, как это выполнялось при нивелировании из середины каждого квадрата.

При составлении плана нивелирования поверхности вначале на листе чертежной бумаги в заданном масштабе строят сетку квадратов, используя для этого дирекционный угол начальной линии и длины сторон квадратов. Затем по данным абриса съемки наносят ситуацию и предметы местности. Около каждой вершины квадрата выписывают их высоты, округляя до сотых долей метра. Далее при помощи прозрачной бумаги (кальки или восковки) по всем сторонам квадратов и по одной из диагоналей в каждом квадрате с наибольшим постоянным уклоном выполняют интерполирование горизонталей, находя точки пересечения горизонталями сторон квадратов. Соединяя точки с одноименными высотами плавными кривыми линиями, проводят горизонтали, которые оформляют светло-

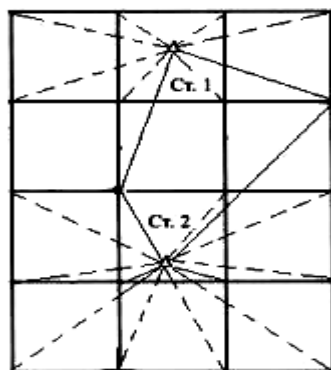


Рисунок 3.3 – Нивелирование через связующие точки

коричневым цветом толщиной 0,2 мм. Горизонтالي кратные 0 и 5 м проводят толще в 2 раза с указанием их высоты.

План вычерчивают в условных топографических знаках и оформляют в соответствие с приведенным в методических указаниях для выполнения лабораторных работ примером.

3.2 Нивелирование поверхности по магистралям с поперечниками

Нивелирование поверхности по магистралям с поперечниками применяют при ярко выраженном рельефе местности и используют для съемки полосы отвода железнодорожных путей, съемки карьеров и водосборных площадей небольших водотоков. При этом способе прокладывают по характерным линиям местности магистральный разомкнутый теодолитный ход с разбивкой на нем поперечников. Затем выполняют нивелирование всех характерных точек поперечников и магистрали. Полученные по результатам нивелирования высоты точек поперечников используют для построения на плане горизонталей.

Для составления топографического плана наносят на чертежной бумаге магистральный ход и перпендикулярно ему поперечники. Высоты характерных точек округляют до сантиметров, и по ним с помощью прозрачной бумаги выполняют интерполирование горизонталей. План оформляют в соответствие с условными топографическими знаками.

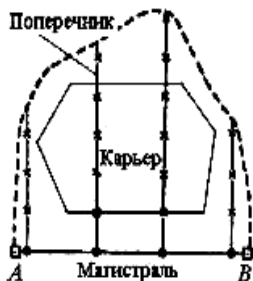


Рисунок 3.4 – Нивелирование по магистралям

Рассмотрим некоторые случаи применения нивелирования поверхности по магистралям с поперечниками. Пусть, например, на рисунке 3.4 показана площадка карьера строительных материалов. Тогда вне ее прокладывают магистраль (AB) и через 10–50 м разбивают поперечники с пикетами и плюсовыми точками, которые закрепляют кольшками или небольшими столбами. Затем выполняют нивелирование точек магистрали и поперечников, по результатам которого

составляют план и профили по поперечникам.

Если во время разработки карьера периодически нивелировать поперечники и наносить на их профили новые профильные линии, то можно каждый раз подсчитывать объем вынутого из карьера грунта. Съемку небольших водосборных площадей производят путем проложения по дну тальвега магистрального хода



Ось трассы

Рисунок 3.5 – Съемка водосборной площади

(AB) с поперечниками до границ водосборной площади (рисунок 3.5). На магистральном ходе и поперечниках разбивают пикеты и измеряют с помощью теодолита углы поворота. Производят нивелирование магистралей и поперечников. По результатам измерений составляют топографический план бассейна.

3.3 Геодезические работы при вертикальной планировке. Составление картограммы земляных работ

Проект вертикальной планировки является составной частью генерального плана строительства. Его составляют с целью преобразования естественных форм рельефа и создания необходимых условий для эксплуатации существующих и проектируемых сооружений. Основой для проектирования вертикальной планировки являются топографические планы, составленные по результатам нивелирования поверхности по квадратам. Обычно вначале составляют общий проект вертикальной планировки и оформляют его в виде картограммы земляных работ, а затем разрабатывают детальный проект, выражая проектный рельеф горизонталями и отметками характерных точек.

Картограмму земляных работ составляют на основе сетки квадратов, у каждой вершины которых выписывают высоты земли, полученные по результатам нивелирования площадки или интерполированием по горизонталям на плане. *Проектные (красные) отметки* вычисляют исходя из условий решения проектного рельефа на площадке.

Если требуется произвести планировку земли под горизонтальную площадку под условие баланса земляных работ, т. е. чтобы объемы насыпей и выемок были примерно равны между собой, то проектную отметку горизонтальной плоскости вычисляют как среднее из всех средних отметок земли в каждом квадрате. Для этого вначале вычисляют среднюю отметку для всех квадратов.

Вторым способом вычисления проектной отметки горизонтальной площадки является определение ее по формуле

$$H_{пр} = (\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 3\Sigma H_3 + 4\Sigma H_4) / 4n,$$

где

n – число квадратов;

ΣH_1 – сумма отметок вершин входящих в один квадрат;

$\Sigma H_2, \Sigma H_3, \Sigma H_4$ – соответственно суммы отметок вершин общих для двух, трех и четырех квадратов.

При проектировании наклонной площадки обычно задают продольный (i_x) и поперечный

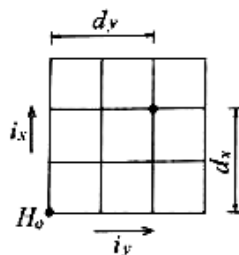


Рисунок 3.6 – Определение проектной отметки

(i_y) уклоны и отметку начальной исходной точки H_0 (рисунок 3.6). Проектную отметку любой точки, расположенной на расстоянии d_x и d_y от исходной точки, можно определить по формуле

$$H_{пр} = H_0 + i_x d_x + i_y d_y. \quad (3.2)$$

Получив по формулам (3.1) или (3.2) проектные отметки, выписывают их на картограмму земляных работ над отметками земли. Вычитая из проектных отметок высоты земли, получают рабочие отметки, которые записывают на картограмме слева от проектных. Если рабочие отметки конечных точек стороны квадрата имеют противоположные знаки, то между ними определяют точки нулевых работ, расстояние до которых

$$x_0 = |a| \cdot d / (|a| + |b|), \quad (3.3)$$

где x_0 – расстояние до точки нулевых работ;

($|a|$ и $|b|$) – соответственно рабочие отметки на вершинах стороны квадрата, взятые по абсолютной величине;

d – длина стороны квадрата.

Отложив от вершины с рабочей отметкой (a) расстояние x_0 , получают точку нулевых работ. Затем аналогично определяют точки нулевых работ по другим сторонам квадрата.

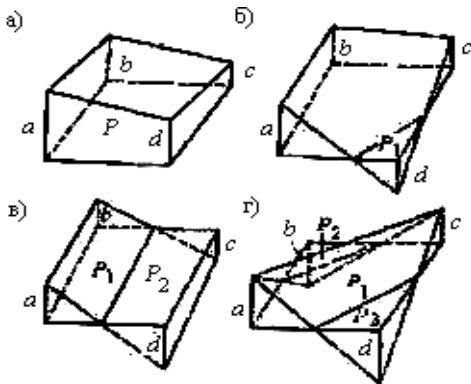


Рисунок 3.7 – Вычисление объемов земляных работ:

квадраты с рабочими отметками: a – четыремя одного знака; b – тремя одного знака и одной противоположного; c – двумя смежными одного знака и двумя другими противоположного; d – чередующимися положительными и

Соединяя полученные точки, проводят линию нулевых работ, которая отделяет насыпь от выемки. Далее вычисляют и записывают на картограмме в каждом квадрате объемы насыпей и выемок. При этом используют (рисунок 3.7) следующие формулы:

а) если рабочие отметки (a, b, c, d) всех четырех вершин квадрата имеют одинаковые знаки то объем грунта

$$V = 1/4 P(a + b + c + d),$$

где P – площадь квадрата;

б) если рабочие отметки (a, b, c) трех вершин квадрата имеют одинаковые знаки, а отметка d –

четвертой вершины противоположный знак, то объемы выемки и насыпи вычисляют по формулам

$$V_H = 1/4P (a + b + c - d) - 1/3P_1d; \quad V_B = 1/3P_1 \cdot d,$$

где P – площадь квадрата;

P_1 – площадь треугольника у вершины с рабочей отметкой d .

в) если рабочие отметки двух соседних вершин квадрата имеют одинаковые знаки, а две другие рабочие отметки – противоположные знаки то объем насыпи и выемки находят по формулам

$$V_{\text{н}} = 1/4P_1(a + b); \quad V_{\text{в}} = 1/4P_2(c + d),$$

где P_1 и P_2 – площади трапеций.

г) если рабочие отметки (a и c) двух вершин по диагонали квадрата имеют одинаковые знаки, а две другие (b и d) – противоположные, то объем насыпи и выемки вычисляют по формулам

$$V_{\text{н}} = 1/4P_1(a + c); \quad V_{\text{в}} = 1/3P_2b + P_3d),$$

где P_1 – площадь шестиугольника, $P_1 = P - (P_2 + P_3)$;

P_2 и P_3 – площади треугольников.

Во всех формулах при вычислении объемов земляных работ надо учитывать знаки рабочих отметок, тогда объем насыпи будет иметь знак «плюс», а объем выемки – знак «минус». Вычисленные по отдельным квадратам объемы насыпей и выемок суммируют, определяя этим общий баланс земляных работ. Картограмму земляных работ оформляют согласно примеру, приведенному в учебно-методическом пособии для выполнения расчетно-графических работ. При этом площади насыпей показывают желтым цветом, площади выемок – коричневым цветом, а линию нулевых работ – синим цветом.

На местности земляные работы выполняют по рабочим отметкам, которые выписывают на кольях, устанавливаемых в вершинах квадратов.

4 ОСНОВЫ ФОТОГРАММЕТРИИ И ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СЪЕМКИ

4.1 Понятие о фотограмметрии

Фотограмметрия (термин *photogrammetrie* является производным от греческих слов *photos* – свет, *gramma* – запись и *metreo* – измерение; дословно – измерение светозаписи) – научная дисциплина, изучающая способы определения формы, размеров и пространственного положения объектов в заданной координатной системе по их фотографическим и иным изображениям.

Фотограмметрия выделилась из геодезии в начале прошлого столетия благодаря применению новых начал измерительной техники, базирующихся на способности объектива строить изображения объектов, возможности регистрации

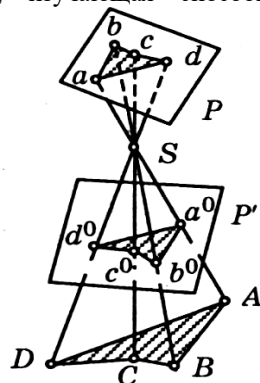


Рисунок 4.1 – Одиночный снимок и план объекта

этих изображений фотохимическими методами и измерения их с помощью оптических, механических, а позднее – и электронных приборов и инструментов.

При фотографировании объекта местности часть световых лучей, отраженных его точками A, B, C, D (рисунок 4.1), улавливается объективом фотокамеры, проходит через его узловую точку S и дает негативные изображения a, b, c и d точек объекта на светочувствительном слое в плоскости P .

Если установить негатив P в то положение, которое он занимал в момент фотографирования, и, воспользовавшись принципом обратимости фотографического процесса, осветить его, то световые лучи Sa, Sb, Sc и Sd пройдут через объектив S и те же точки объекта $ABCD$.

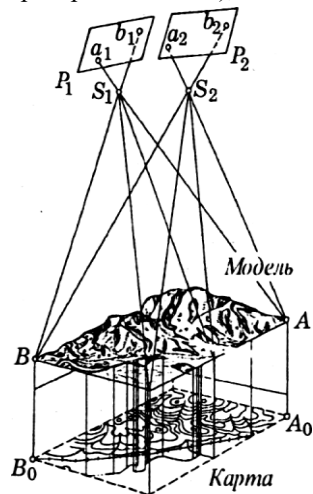
Поставив на пути световых лучей экран P' , в сечении его лучами светового пучка получим изображения $a^0b^0c^0d^0$ тех же точек $ABCD$ объекта в масштабе, зависящем от соотношения удалений экрана P' от объектива S и этого объекта. Изменяя угол, под которым световой пучок пересекает экран P' , можно выполнять преобразование (трансформирование) изображения.

Методы построения и преобразования изображений объектов, основанные на использовании свойств одиночного аэроснимка, называются фотограмметрическими.

Так как оценка положения точек по высоте при такой обработке невозможна, то область применения методов фотограмметрии ограничивается преобразованием изображений объектов, расположенных в одной плоскости.

Полное описание формы, размеров и пространственного положения объектов местности возможно лишь на основе методов стереофотограмметрии (от греческого слова *stereos* – пространственный), использующей свойства пары снимков.

Пусть из двух точек пространства S_1 и S_2 (рисунок 4.2) получена пара перекрывающихся снимков P_1 и P_2 . Точки местности A и B изобразились на левом снимке P_1 в виде точек a_1 и b_1 , а на правом P_2 – в виде точек a_2 и b_2 . Если снимки P_1 и P_2 установить в то положение, которые они занимали во время съемки, то связки лучей, существовавшие в момент фотографирования, окажутся восстановленными, и в пересечении соответственных лучей S_1a_1 и S_2a_2 , S_1b_1 и S_2b_2 , проходящих через соответственные точки перекрытия снимков, возникает пространственная (стереоскопическая) модель, подобная сфотографированному объекту местности.



Масштаб стереоскопической модели определяется расстоянием S_1S_2 между вершинами связок, и, изменяя его, можно привести построенную модель к заданному масштабу. Вращение модели вокруг координатных осей позволяет привести ее в требуемое положение относительно системы координат местности.

Теперь для получения плана (карты) достаточно выполнить измерение координат точек A, B и др. стереоскопической модели и ортогональное их проектирование на плоскость карты (точки A_0, B_0).

Легко видеть, что построение пространственной модели местности возможно лишь при совместной обработке пары перекрывающихся между собой снимков. Наличие перекрытий между снимками позволяет создавать высокоточные фототриангуляционные сети, состоящие из снимков одного или нескольких маршрутов.

Преобразование координат точек сети в систему местности выполняется по включенным в нее опорным точкам, положение которых в системе координат местности определяют по результатам полевых геодезических измерений.

Таким образом, применение фотограмметрического и стереофотограмметрического методов связано с получением аэроснимков с помощью летательных аппаратов и последующей их камеральной обработкой.

Фотографирование исследуемых объектов и последующая камеральная обработка их изображений вместо самих объектов предопределяют основные *преимущества фотограмметрических и стереофотограмметрических методов исследований* перед другими. Это, прежде всего, высокая производительность метода; объективность, достоверность и документированность данных; высокая точность; возможность безопасного получения информации о любых (в том числе быстро движущихся) объектах и т. п. Эти преимущества фотограмметрии обеспечили применение ее методов в самых разнообразных отраслях науки и техники: геодезии и картографии (для создания планов и карт); строительстве (для контрольных измерений и исследования деформации сооружений); архитектуре (для съемки исторических памятников); астрономии и космонавтике (для определения положения космических объектов и картографирования планет); военно-инженерном деле (для определения координат цели, траектории и иных параметров полета снаряда и пр.) и т. д.

Фотограмметрическая обработка фотоснимков позволяет выявить месторождения полезных ископаемых и их границы, определить интенсивность движения городского транспорта, параметры деятельности вулканов, характеристики объектов микромира и т.п.

Становление и развитие фотограмметрии тесно связано с точным приборостроением и авиацией, космонавтикой и физикой, химией и электроникой, математикой, геодезией и картографией. Их достижениями определяется и современное состояние фотограмметрии, в которой можно

выделить несколько направлений:

– *аэрофототопографию*, изучающую методы и технические средства создания планов и карт по цифровым или аналоговым изображениям земной поверхности, полученным с летательного аппарата;

– *прикладную фотограмметрию*, изучающую вопросы применения фотограмметрии в интересах различных областей науки и техники – в строительстве, архитектуре, медицине, геологии, военном деле и т.п.;

– *космическую фотограмметрию*, изучающую вопросы применения фотограмметрии для обработки снимков Земли, планет и иных небесных тел, полученных непосредственно из космоса (с борта космического аппарата) или с помощью спускаемых аппаратов.

Появившиеся в конце XX в. технические средства и методы получения, обработки и хранения цифровых изображений придали фотограмметрии новый импульс и обусловили возникновение и развитие *цифровой фотограмметрии*, основанной на применении электронных вычислительных машин, теории машинного зрения и др.

4.2 Основные виды и методы фототопографических съемок

Фототопография, как составная часть фотограмметрии, решает задачи определения координат точек местности, составления топографических карт и цифровых моделей местности по результатам фотограмметрической обработки ее изображений.

Фототопографической съемкой называют комплекс процессов, выполняемых для создания топографических или специальных карт и планов по материалам фотосъемки. В этот комплекс входят фотографирование местности, полевые геодезические работы по определению координат опорных точек и камеральные фотограмметрические работы, результатом которых является топографический или специальный план (карта) местности.

Фототопографическую съемку, в зависимости от применяемых технических средств и методов, делят на воздушную (аэрофототопографическую) и наземную (рисунок 4.3).

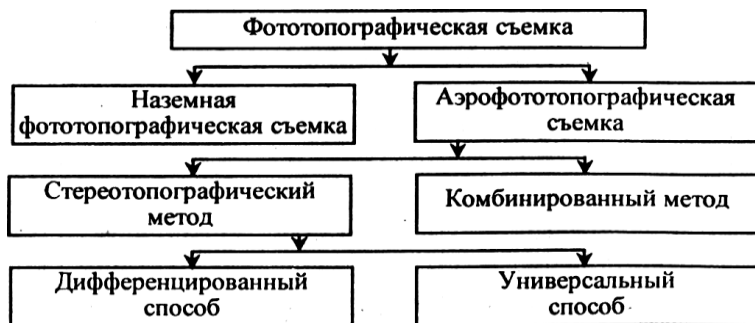


Рисунок 4.3 – Фотограмметрические методы, применяемые для создания планов и карт

Наземная фототопографическая съемка основана на использовании наземных фотоснимков исследуемой территории, полученных с помощью фототеодолитов (рисунок 4.4) с концов некоторого базиса. Обработку фотоснимков выполняют стереофотограмметрическим методом, с помощью специальных приборов.

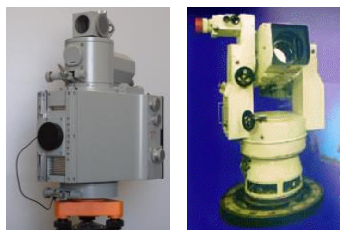


Рисунок 4.4 – Фототеодолиты

Этот метод съемки иногда называют фототеодолитной, или наземной стереофотограмметрической съемкой. В современных условиях фототеодолитная

съемка применяется, в основном, для архитектурных обмеров, определения объемов земляных работ, при съемке карьеров, горных выработок, изучении деформации инженерных сооружений и т.п.

Аэрофотоотопографическая съемка предусматривает фотографирование местности аэрофотоаппаратом (рисунок 4.5), установленном на воздушном носителе (самолете, вертолете, космическом аппарате и т.п.), и последующую обработку полученных результатов. В зависимости от применяемых методов обработки результатов аэрофотосъемки различают два метода аэрофотоотопографической съемки: комбинированный и стереотопографический.



Рисунок 4.5 – Аэрофотоаппарат

Комбинированный метод аэрофотоотопографической съемки основан на использовании свойств одиночного снимка и предполагает получение плановой (контурной) части карты в камеральных условиях, а высотной части – в полевых. При этом камеральные работы включают операции по сгущению съемочного обоснования и изготовлению фотопланов, а полевые – съемку рельефа на фотоплане приемами мензульной съемки. Ввиду значительной трудоемкости и большого объема полевых работ комбинированный метод в настоящее время свою актуальность потерял.

Стереотопографический метод решает задачу составления карты на основе свойств пары снимков и в современных условиях является основным методом картографирования. Применение стереотопографического метода предполагает составление плановой (контурной) и высотной частей карты в камеральных условиях. В стереотопографическом методе, в зависимости от применяемых методов и приборов, различают два способа обработки снимков: дифференцированный и универсальный.

Дифференцированный способ решает задачу обработки снимков на нескольких приборах, одна часть которых (фототрансформатор) применяется для изготовления контурного фотоплана, а другая часть (стереометр) – для рисовки рельефа (горизонталей). Дифференцированный способ обработки материалов аэрофотосъемки широко применялся до 60-х гг. прошлого столетия, пока на смену ему не пришел более точный и производительный универсальный способ.

Универсальный способ обработки снимков основан на применении методов и приборов, позволяющих по результатам обработки пары снимков определять одновременно плановые координаты и высоты точек. Все процессы такой фотограмметрической обработки выполняются на одном приборе.

Создание топографического плана (карты) фототопографическим методом связано с дешифрированием снимков и обеспечением их опорными точками.

Дешифрирование снимков – процесс распознавания изображенных на снимках объектов и определения их характеристик.

Опорными точками в фотограмметрии называют опознанные на снимках контурные точки, необходимые для преобразования изображения (снимка) с целью представления конечных результатов в требуемой проекции и координатной системе. Координаты опорных точек определяют в результате полевых геодезических или камеральных фотограмметрических работ. Во втором случае речь идет о построении по снимкам одного или нескольких маршрутов сети фототриангуляции, опирающейся на сравнительно редкую сеть точек с известными геодезическими координатами. Число и расположение опорных точек на снимках зависит от метода последующей обработки этих снимков.

4.3 Основы аэрофотосъемки

Одним из важнейших применений фотографии является **воздушное фотографирование**, т. е. получение цифровых или аналоговых снимков земной поверхности с летательных аппаратов — самолетов, вертолетов, искусственных спутников Земли и др.

Аэрофотосъемкой называют совокупность работ по получению изображений местности с целью последующего их использования для создания планов и карт. Термин «аэрофотосъемка» объединяет ряд взаимосвязанных процессов, в которые в общем случае входят:

летно-съёмочные работы, включающие разработку технических условий аэрофотосъёмки и ее выполнение;

полевые фотолабораторные работы, выполняемые при использовании аналоговых аэрокамер и включающие фотографическую обработку экспонированных аэрофильмов, изготовление по ним отпечатков и иной первичной продукции;

полевые фотограмметрические работы, включающие регистрацию материалов аэрофотосъёмки и оценку их качества; при использовании цифровых аэрокамер и систем они дополняются формированием синтезированных (компазитных) панхроматических и цветных изображений из снимков меньшего формата.

Результатом перечисленных работ являются аэронегативы, аэроснимки (при аналоговой съёмке) или цифровые изображения (в случае использования цифровых камер и съёмочных систем), а также зафиксированные в полете показания специальных приборов.

Аэронегативы (аэроснимки) – цифровые или аналоговые изображения местности, покрывающие без разрывов заданный участок земной поверхности – используются для последующего преобразования и создания по ним карт и планов (рисунок 4.6). Для обеспечения последующих работ смежные аэронегативы (аэроснимки) должны иметь перекрытия расчетной величины. Метрические и фотометрические (яркостные) характеристики аэронегативов в значительной степени зависят от выполнения технических условий аэрофотосъёмки и выбора параметров применяемых фотографических материалов и оптических систем. Точность и качество аэронегативов, в свою очередь, определяет качество создаваемых по ним карт и планов, сроки фотограмметрической обработки, организацию работ и т. п. Для получения полноценных аэронегативов и их эффективного использования необходимо согласование параметров летно-съёмочных работ с организацией всего топографо-геодезического производства.



Рисунок 4.6 – Аэроснимок



Рисунок 4.7 – Комплект оборудования для аэрофотосъёмки

В соответствии с законами центрального проектирования, по которым строится изображение местности, точки аэронегатива (аэроснимка) получают смещения, величины которых определяются углом наклона оптической оси аэрофотоаппарата и колебанием рельефа местности. Устранение этих

смещений осуществляется в процессе их фотограмметрической обработки, и в частности – фотографического или цифрового преобразования, называемого трансформированием. В связи с этим использование аэроснимков для решения каких-либо задач, связанных с измерениями по ним, без их предварительного трансформирования ограничивается влиянием указанных смещений.

Использование при аэрофотосъемке специального оборудования (рисунок 4.7), обеспечивающего стабилизацию съемочной камеры в полете, компенсацию сдвига изображения, определение угловых и линейных элементов внешнего ориентирования снимков и др., существенно упрощает последующую камеральную обработку снимков и повышают ее точность.

Наличие указанных данных во многом определяет технологию камеральной обработки материалов аэрофотосъемки, существенно влияет на оперативность, точность фотограмметрических построений и объемы полевых работ по их геодезическому обеспечению.

Аэрофотосъемочные работы выполняются на оборудованных летных средствах специализированными подразделениями гражданской авиации или непосредственно топографо-геодезическими (землеустроительными, лесоустроительными и др.) предприятиями.

При аэрофотосъемке можно полагать, что объект находится в бесконечности, т. е. изображение объекта (местности) строится в главной фокальной плоскости. В этой плоскости и помещают светочувствительный материал (фотопленку, датчик), на которой получается изображение фотографируемой местности. Это позволяет применять для определения масштаба горизонтального аэроснимка простую зависимость, вытекающую из подобия треугольников Sab и SAB (рисунок 4.8)

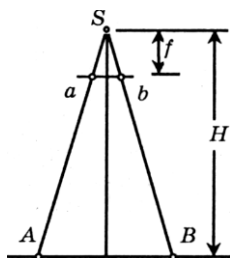


Рисунок 4.8 – Масштаб аэрофотоснимка

$$ab/AB = f/H = 1/L. \quad (4.1)$$

Здесь $AB = L$ и $ab = l$ – расстояния между точками на местности и их изображениями на снимке; f – фокусное расстояние объектива съемочной камеры; H – высота фотографирования.

4.3.1 Сканирующие съемочные системы

Концепция съемки с помощью сканирующих систем была предложена доктором Отто Хофманом еще в 1970-е годы и использовалась немецким аэрокосмическим центром DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und

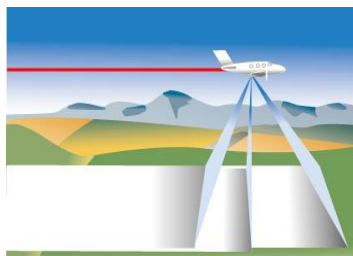


Рисунок 4.9 – Схема линейного сканирования

Raumfahrt) при разработке цифровых съемочных систем космического базирования. В соответствии с ней **линейный сканер** оснащается тремя ПЗС-линейками, установленными так, что одна из них формирует строку шириной в один пиксел, содержащую изображение соответствующей полосы местности по направлению «вперед», другая – «в надир», а третья – «назад» (рисунок 4.9).

Совокупность строк, создаваемых одной ПЗС-линейкой по мере перемещения носителя, формирует изображение полосы местности произвольной длины, называемое ковром; три линейки ПЗС формируют три полосы (ковра).

Полученные с помощью линейного сканера изображения местности обладают весьма специфическими геометрическими и фотометрическими свойствами, а их обработка связана с использованием своеобразной математической модели и специального программного обеспечения. Кроме того, получение таких изображений требует согласования навигационных параметров полета (скорости, высоты полета, пространственного разрешения снимков и пр.) с масштабом аэроснимка, а также применения оборудования высокой точности.

В настоящее время имеется ряд камер авиационного базирования с линейными датчиками изображения: ADS (Leica GeoSystems), JAS 150 (Jena Optronik), 3-DAS-1 и 3-OC-1 (Werhli and Associates, Геосистема), HRSC-A, AX, -AXW (DLR) и др., из которых наибольшей известностью пользуется семейство камер ADS (Airborne Digital System).

Система ADS включает головную часть (рисунок 4.10), устройство управления, блок памяти, интерфейс оператора и программное обеспечение.

Головная часть защищена кожухом, закрывающим его компоненты, основными из которых являются объектив с телецентрической оптикой, фокальная плоскость с линейками ПЗС, система охлаждения, инерциальный измерительный блок IMU и др.

Объектив с постоянным относительным отверстием и полем зрения 64° характеризуется разрешением порядка 130 линий/мм и телецентрическими свойствами, благодаря которым световые лучи пересекаются с фокальной плоскостью под прямыми углами.

Фокальная плоскость содержит три группы линеек ПЗС, установленных так, что попадающие на них световые лучи создают изображения полос местности по направлениям «назад», «в надир» и «вперед». Установленное перед фокальной плоскостью трихромное устройство выполняет расщепление светового потока на три (красный, синий, зеленый) или четыре



Рисунок 4.10 - Головная часть сенсора SH51/ SH52

(красный, синий, зеленый и инфракрасный) составляющих. При этом панхроматические каналы представлены парами ПЗС-линеек, установленными перпендикулярно направлению полета и сдвинутыми одна относительно другой на половину пикселя (3,25 мкм) для увеличения детальности создаваемого изображения.

Для фиксации углов отклонения фокальной плоскости от горизонтального положения используется жестко связанный с ней измерительный блок IMU инерциальной системы POS AV.

Устройство управления представляет собой компьютер, работающий в операционной среде Microsoft Windows и связанный с другими компонентами ADS с помощью оптических кабелей; поступающая по ним информация направляется в блок памяти для длительного хранения и используется для управления полетом и оборудованием. Кроме того, в его составе имеется двухсистемный (GPS и ГЛОНАСС) спутниковый приемник и вычислительный блок инерциальной системы POS.

Блок памяти представляет собой герметичный съемный блок повышенной прочности, устанавливаемый на устройство управления и жестко с ним связанный. Он предназначен для концентрации полученной во время полета информации, и в нем может разместиться информация объемом от 540 (MM40) до 900 (MM50) Гб и более. Данные в MMS хранятся в специальном формате, блоками с синхронно полученными строками, чередующимися от разных датчиков.

Программное обеспечение ADS представлено несколькими сегментами, используемыми на этапе предполетной подготовки и планирования аэрофотосъемки, управления полетом (FCMS) и послеполетной обработки (GPro для камеры ADS40 и XPro для ADS80). Аппаратура ADS общей массой 193–197 кг (в зависимости от массы измерительного блока IMU) может эксплуатироваться на высотах до 7,6 км при температуре от –20 до +55 °С и влажности менее 95 %.

4.3.2 Виды аэрофотосъемки

Аэрофотосъемку можно классифицировать по нескольким критериям – по величине угла наклона, масштабу, способу прокладки аэросъемочных маршрутов и др.

В зависимости от величины угла наклона между главной оптической осью съёмочной камеры и отвесной прямой аэрофотосъемку подразделяют на *плановую* (угол < 3°) и *перспективную* (угол > 3°). Для целей картографирования применяется только плановая аэрофотосъемка, хотя современные технологии фотограмметрической обработки аэроснимков такого ограничения не накладывают.

В зависимости от поставленной задачи и размеров фотографируемого участка местности различают:

- *одинарную аэрофотосъемку*, когда объект фотографирования размещен на одном-двух снимках;
- *маршрутную аэрофотосъемку*, когда выполняется фотографирование узкой полосы местности (реки, дороги, береговые линии и др.);
- *площадную или многомаршрутную аэрофотосъемку*, когда снимаемый участок по своим размерам не может быть изображен на снимках одного маршрута, и для его фотографирования необходимо несколько параллельных маршрутов на определенном расстоянии один от другого.

В зависимости от масштаба фотографирования аэрофотосъемку подразделяют на *мелкомасштабную* (масштаб аэроснимка 1:50000 и мельче), *среднемасштабную* (1:10000–1:50000) и *крупномасштабную* (1:10000 и крупнее).

В зависимости от целей и поставленных задач аэрофотосъемка выполняется в границах топографических планшетов, административно-территориальной единицы или объекта съемки.

В некоторых случаях при выполнении площадной аэрофотосъемки прокладываются дополнительные аэросъемочные маршруты, пересекающие основные. Такие маршруты размещаются, как правило, в начале и конце основных маршрутов и называются *каркасными*.

4.4 Понятие о трансформировании

Трансформированием называется преобразование центральной проекции, которую представляет собой аэронегатив (аэроснимок), полученный при наклонном положении главного оптического луча, в другую центральную проекцию, соответствующую его отвесному положению, с одновременным приведением его к заданному масштабу.

Трансформирование выполняют путем «обратного проектирования» изображения с наклонной картинной плоскости на предметную плоскость, соответствующую ортогональной проекции. В процессе трансформирования полностью исключаются все виды перспективных искажений аэроснимка, вызванных влиянием угла наклона, и разномасштабность смежных снимков, которая является следствием изменения высоты фотографирования. Названные искажения подчиняются определенным законам, потому их учет не вызывает затруднений.

Смещения точек снимка, вызванные влиянием рельефа местности, соответствуют изменениям его форм, поэтому их учет является одной из наиболее трудных задач фотограмметрии, строгое решение которой связано с разложением изображения на отдельные точки (зоны) и раздельным их трансформированием по известным высотам. Для учета влияния рельефа местности применяют несколько методов или технологических приемов,

различающихся размерами таких зон и обеспечивающих устранение искажений с требуемой точностью. Рассматриваемые преобразования требуют наличия данных, позволяющих прямо или косвенно найти элементы внешнего ориентирования снимков. Поэтому методы трансформирования делятся на две основных, принципиально и технически различных группы – *трансформирование по опорным точкам и элементам ориентирования*.

Для трансформирования аналоговых аэроснимков применяют несколько способов, различающихся используемыми техническими средствами: аналитический, фотомеханический, оптико-графический, дифференциальный и др. Часть этих способов устарела и не используется.

Аналитический способ трансформирования основан на использовании зависимостей между координатами соответственных точек аэроснимка и местности.

Фотомеханический способ трансформирования основан на использовании специальных приборов – фототрансформаторов (рисунок 4.11). Эти приборы реализуют первую систему элементов трансформирования и предназначены для трансформирования плановых и перспективных снимков с преобразованными связками проектирующих лучей по опорным точкам или установочным данным.

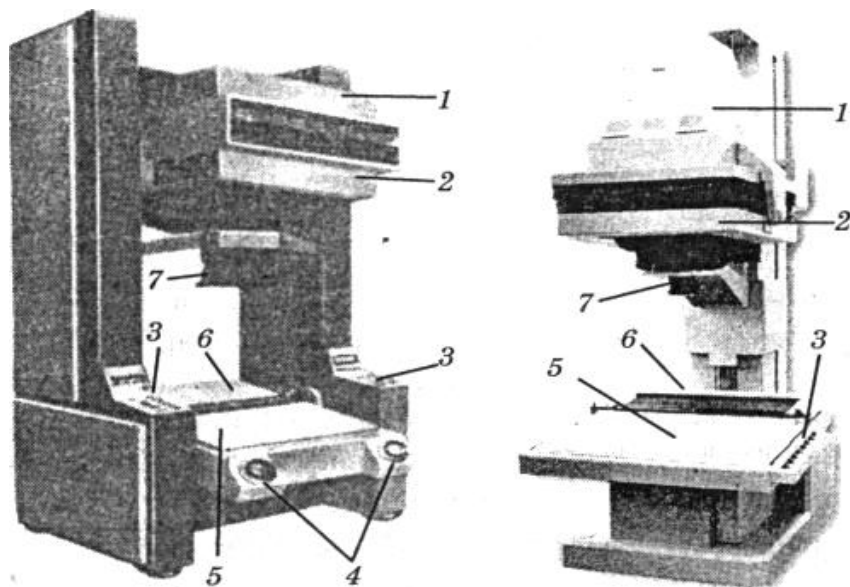


Рисунок 4.11 – Автоматизированные фототрансформаторы ФТА и «Пеленг» :
1 – осветитель; 2 – кассета; 3 – пульт управления; 4 – счетчики коррекционных механизмов;
5 – экран; 6 – подвижная щель; 7 – объектив

Кассета рассчитана на установку в снимкодержатель как отдельного аэроснимка, так и целого аэрофильма длиной до 60 м. Закрепление фотоматериала на экране выполняется с помощью магнитных грузиков, а его выравнивание в плоскость – вакуумным присосом.

Оба прибора снабжены вычислительными устройствами для автоматического выполнения оптических и геометрических условий; значение децентрации вводится автоматически или вручную. Оба прибора оснащены щелевой установкой, позволяющей выполнять аффинное преобразование изображения путем его поперечного сдвига и продольного сжатия (растяжения). Ширина щели, через которую выполняется проектирование фрагмента снимка, регулируется в зависимости от параметров аэрофотосъемки.

Соответствующими рабочими движениями основные части фототрансформатора приводят в положение, при котором проекция снимка (негатива) на экран соответствует горизонтальному снимку, и фиксируют изображение на фотобумаге. Трансформированный фотоснимок получается в результате химической обработки экспонированной фотобумаги. Этот способ до недавнего времени был основным.

Оптико-графический способ трансформирования предполагает применение специальных малоформатных приборов – проекторов. Полученное с их помощью трансформированное изображение проектируют на лист бумаги, обводят карандашом и оформляют принятыми условными знаками. В настоящее время способ находит ограниченное применение при обновлении топографических или иных карт.

Дифференциальный способ трансформирования основан на преобразовании отдельных фрагментов исходного изображения с учетом высот их центров над средней плоскостью снимка и элементов внешнего ориентирования. Способ реализуется на приборах универсального типа либо на ЭВМ, а результатом обработки является ортофотоснимок (ортофотоплан).

Термин «*дифференциальное трансформирование*» (иногда – «*щелевое трансформирование*») в фотограмметрии применяется в случаях, когда ортофотоснимок создается с помощью прибора универсального типа. Для его получения выполняется сканирование одного из снимков стереопары вдоль оси Y с постоянным изменением высоты проектирования в соответствии с профилем местности и проектирование изображения на фотографический слой через щель ромбической или трапециевидной формы.

В настоящее время широко используется цифровое трансформирование, или *ортотрансформирование* снимков, базирующееся на использовании персональных ЭВМ и заключающееся в трансформировании каждого пикселя исходного цифрового изображения в

соответствии с его высотой, определяемой по цифровой модели рельефа, и связи координат точек аэроснимка и местности.

Полученные в результате трансформированные снимки используют для монтажа фотоплана. Фотопланом называют фотографическое изображение местности, удовлетворяющее по точности требованиям, предъявляемым к плану.

В зависимости от целевого назначения фотопланы делят на топографические, составляемые в общегосударственной разграфке с соблюдением требований действующих инструкций и наставлений по топографической съемке, и специальные, изготавливаемые, как правило, в произвольной разграфке и с соблюдением ведомственных требований по точности и оформлению.

Существенным преимуществом фотоплана по сравнению с топографическим планом является высокая информационная емкость и наглядность. В то же время фотографическое изображение контуров отличается от условного их изображения на карте. Его оформление зачастую ограничивается подписью номенклатуры и выходов километровой сетки, что до некоторой степени затрудняет измерение по нему координат точек.

Для улучшения читаемости фотоплана на нем часто показывают соответствующими условными знаками некоторые объекты (населенные пункты, основные дороги и др.), наносят координатную сетку и проводят горизонтали. Такой документ, сочетающий в себе преимущества фотоплана и топографической карты, называют фотокартой.

4.5 Дешифрирование

Все элементы местности при одинаковой их освещенности обладают различными оптическими характеристиками, благодаря чему их изображения на аэрофотоснимках различаются по фототону, структуре рисунка и пр. Кроме того, на снимках в известной степени сохраняется подобие и соотношение размеров объектов, неизменность их взаимного расположения и т. п. Фотоизображение местности, таким образом, обладает ценными изобразительными свойствами, выделяющими данный объект среди других.

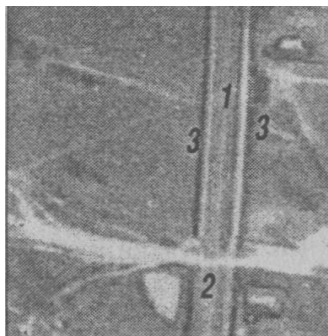


Рисунок 4.12 – Дешифрирование путей сообщения:

- 1 – двухколейная железная дорога;
- 2 – железнодорожный переезд; 3 – железнодорожная платформа

Распознавание по фотоизображению объектов местности, необходимых для составления плана или других целей, и выявление их содержания с обозначением в условных знаках качественных и количественных характеристик

называется **дешифрированием** (рисунок 4.12).

Возможность распознавания изображения объекта определяется наличием граничных линий со смежными объектами, тоновой и цветовой контраст которых лежит в пределах зрительного восприятия. Увеличение такого контраста является обязательным условием аэрофотографирования.

В общем комплексе работ по созданию топографической основы дешифрирование занимает важное место и является весьма ответственным и трудоемким процессом. От точности определения по фотоизображению положения объектов местности, достоверности и полноты их характеристик в значительной степени зависит и качество изготавливаемого плана.

В зависимости от назначения дешифрирование подразделяют на *топографическое* и *специальное*, причем ко второму относят распознавание объектов по их фотоизображениям в интересах сельского хозяйства, геологии, гидрологии и т. п.

Универсальность материалов аэрофотосъемки позволяет в каждом случае дешифрирования выявлять те особенности и детали местности, которые требуются для решения соответствующих научных, инженерных, хозяйственных и иных задач.

При *топографическом дешифрировании* выявляют и показывают условными знаками элементы местности, необходимые для создания топографической карты в заданном масштабе: населенные пункты и отдельные постройки; закрепленные на местности опорные геодезические пункты; гидрографическую и дорожную сети, линии связи с характеризующими их данными и относящимися к ним сооружениями; естественный и культурный растительный покров и грунты; рельеф местности и др.

При *специальном дешифрировании*, выполняемом в интересах землеустроительной, архитектурно-градостроительной, лесной или иной службы, выявляют в первую очередь интересующие их объекты местности – административно-территориальные или хозяйственные границы, породы леса и др. с характеризующими их данными. При этом другие элементы местности – пути сообщения, элементы гидрографии, леса, болота и т. п. – дешифрируют с обобщением и сокращением их характеристик в части, не имеющей непосредственного отношения к соответствующей службе.

В зависимости от техники исполнения дешифрирование делят на камеральное, полевое, комбинированное и аэровизуальное.

Камеральное дешифрирование основано на использовании изобразительных свойств фотоснимков и изучении различных вспомогательных материалов. В ряде случаев, таких, как военное дело, изучение небесных тел и др., оно является единственно возможным.

Полевое дешифрирование, выполняемое непосредственно на местности, носит сезонный характер. Оно основано на сличении фотоизображения с

натурой, чем и обеспечивается требуемая полнота, точность и достоверность результатов на момент дешифрирования.

Комбинированное дешифрирование сочетает достоинства и недостатки полевого и камерального дешифрирования. Как правило, в зимний период выполняют камеральное дешифрирование, а в летний – полевую проверку и уточнение полученных зимой результатов.

Аэровизуальное дешифрирование производят непосредственно с борта летательного аппарата (самолета, вертолета) и применяют для ускорения процесса дешифрирования больших однородных массивов с малым числом контуров – лесов, болот и др.

Дешифрированию объектов местности способствуют изобразительные свойства фотоснимков, складывающиеся из прямых и косвенных дешифровочных признаков.

Прямые дешифровочные признаки присущи практически всем объектам местности, изображающимся на снимках данного масштаба. Они характеризуют объект непосредственно и включают форму, размер, тон, цвет, тень, структуру и др.

Косвенные дешифровочные признаки возникают из закономерностей взаимного расположения объектов местности в силу их назначения, природных условий, хозяйственного использования и т. д.

4.6 Стереофотограмметрические приборы

Стереоскоп является наиболее высокоточным стереофотограмметрическим прибором, предназначенным для определения положения соответственных точек на смежных снимках, которое характеризуется координатами ее изображения.

Стереоскоп «Стеко 1818» производства фирмы «Карл Цейсс Йена» (рисунок 4.13) получил в нашей стране наибольшее распространение. Прибор

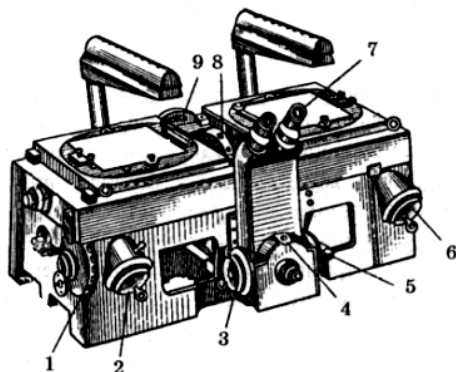


Рисунок 4.13 – Стереоскоп «Стеко 1818»

предназначен для измерения координат и параллаксов точек по снимкам формата 18×18 см. Коэффициент увеличения наблюдательной системы 8^x. Визирование осуществляется с помощью марок, расположенных в фокальной плоскости окуляров. Марки имеют форму баллончиков с точкой в нижней части; для наведения на точки используют точку или нижний

конец баллончика. Наблюдение стереомодели и ее измерение выполняется с помощью бинокулярного микроскопа 7. Наведение на точки снимков выполняют вращением штурвалов абсцисс X (2), ординат Y (3), продольного параллакса P (6) и кольца поперечного параллакса Q (5). Значения координат отсчитывают по круговым шкалам абсцисс (1) и ординат (4) с точностью 0,02 мм, а P и Q – по круговым шкалам продольных (8) и поперечных (9) параллаксов с точностью 5 мкм.

Универсальными называют стереофотограмметрические приборы, предназначенные для построения геометрической модели по снимкам местности и измерения пространственного положения любой точки этой модели для целей фотограмметрического сгущения полевого обоснования, съемки контуров и рельефа, создания и обновления топографических и специальных карт, получения ортофотоснимков и др. При построении геометрической модели местности по каждому снимку стереопары восстанавливаются направления проектирующих лучей, проходящих через изображения точек на снимке, центр проекции и точки модели.

Оптические универсальные приборы имеют две и более проектирующие камеры, с помощью которых восстанавливаются связки проектирующих лучей. Геометрическая модель создается в результате пересечения соответственных лучей в пространстве модели. Группу оптических приборов представляют мультиплексы, двойные проекторы и др.

Механические универсальные приборы имеют только по две проектирующие камеры. В них оптические лучи заменены двумя механическими стержнями или линейками, вращающимися вокруг карданных центров. Рассматриваемую группу приборов представляют стереопроектор Романовского (СПР, СПР-2, СПР-3), стереограф Дробышева (СД-1, СД-1М, СД-2, СД-3 (рисунок 4.14), УСД, СЦ-1, СЦ-2), стереометрограф, топокарт (Германия) и др.

Оптико-механические универсальные приборы имеют также по две камеры. В них связка проектирующих лучей строится оптическими средствами, а геометрическая модель – при помощи двух стержней. Эту группу приборов представляет стереопланиграф (Германия) и некоторые другие приборы.

Элементами конструкции аналоговых универсальных стереофотограмметрических приборов являются следующие технологические системы.

Измерительная система стереоприбора предназначена для определения

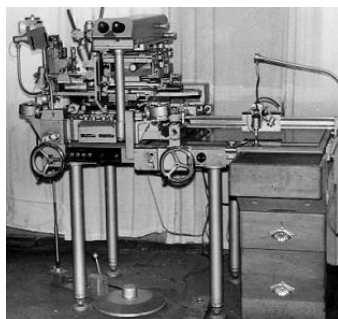


Рисунок 4.14 – Стереограф СД-3

пространственных координат точек модели. Она включает направляющие, которые определяют пространственную систему координат, и каретки, перемещающиеся вдоль направляющих.

Проектирующая система используется для построения фотограмметрической модели путем восстановления связей проектирующих лучей (в оптических приборах) или соответственных проектирующих стержней (в механических и оптико-механических приборах).

Трансформирующая система применяется для учета смещений точек вследствие влияния углов наклона снимков.

Наблюдательная система предназначена для стереоскопического наблюдения пары снимков, наведения на точки измерительной марки и решения некоторых других задач – освещения снимков, звуковой сигнализации и т. п.

Стереофотограмметрические приборы, в зависимости от способа установления связи между этими тремя точками, делятся на аналитические и аналоговые.

Аналитические приборы представляют собой сочетание измерительных приборов на базе высокоточного стереокомпаратора и ЭВМ. Поступающие в ЭВМ данные используются для решения уравнений связи между координатами точек снимков и местности, управления каретками измерительной системы и координатографа. Результаты обработки представляются в виде плана, ортофотоплана, каталога координат и высот точек и др. К числу таких приборов относятся «Матра» (Франция), Aviolut (Швейцария) Стереонаграф (Россия – Украина), АФП SD2000 (Россия) (рисунок 4.15) и др.

Аналоговые приборы основаны на использовании достижений оптики и точной механики. В основе их конструкции лежит построение геометрической засечки оптическими, механическими или оптико-механическими средствами.

Для измерения модели местности в аналитических и аналоговых приборах оптико-механического и механического типа используют способ мнимой марки; в оптических универсальных приборах иногда применяют способ действительной марки.

Дополнительные устройства и приспособления, входящие в состав некоторых универсальных приборов, обеспечивают регистрацию



Рисунок 4.15 – АФП SD2000

результатов измерений, графическое отображение элементов создаваемой карты или плана на основе (координатографы или графопостроители), изготовление ортофотоснимков и др.

4.7 Методы цифровой фотограмметрии

Изображения могут быть представлены, в зависимости от способа их получения, в аналоговой или цифровой форме.

Аналоговая форма изображения предполагает его получение каким-либо образом на физическом носителе – на бумаге, фотобумаге, фотопленке и др. и используется с незапамятных времен. Во многих случаях такая форма является основной, особенно там, где важна юридическая значимость изображения либо если оно необходимо для использования в нестационарных условиях.

Цифровая форма изображения возникла в связи с потребностью его представления в памяти электронных вычислительных машин, и в настоящее время является одной из основных. Для представления изображения в цифровой форме может использоваться две модели данных: векторная и растровая.

Векторная модель данных применяется для отображения дискретных объектов цифровой карты, плана, составительского оригинала и др. с помощью набора примитивов и их комбинаций – точек, соединяющих их линий, граней, ребер и др. Все точки векторной модели задаются в координатной системе местности.

Растровая модель данных применяется для представления непрерывных изображений с помощью элементов упорядоченного массива цифровых сигналов, интерпретирующих яркости соответствующих им элементов исходного объекта или изображения. При визуализации этот массив преобразуется в двумерную матрицу, соответствующую плоскости исходного изображения, а элементы массива – в квадратные ячейки одинакового размера, являющиеся наименьшими адресуемыми элементами. Каждый такой элемент, называемый *пикселем*, соответствует определенному участку исходного объекта (изображения) и характеризуется цветом, яркостью и иными параметрами. Пиксель цифрового изображения является оптически однородным, и внутри его отдельные элементы изображения не выделяются. Экспериментально установлено, что для воспроизведения на цифровом снимке компактного объекта его размер должен быть не менее четырех пикселей.

В фотограмметрии под цифровым изображением понимают его растровую форму, в которой массив цифровых сигналов формируется непосредственно в процессе съемки с помощью цифровой камеры, либо путем сканирования соответствующего аналогового изображения (аэронегатива, реже – диапозитива).

Растровое изображение строится из составляющих его пикселей, размещаемых построчно слева направо и сверху вниз, а доступ к какому-либо

из них осуществляется по номеру соответствующего столбца и строки. Эти величины и используются в качестве координат пикселя в системе с началом в левом верхнем углу и осями, совмещенными с его внешними границами.

Растровые координаты пикселя относятся к его центру, хотя с помощью математического аппарата (например, при переносе со смежного снимка) они могут быть найдены с точностью до доли пикселя. В этих случаях для доступа к пикселю используется целая часть его растровых координат.

При фотограмметрической обработке цифрового изображения необходимо знать физические координаты избранной точки в линейной форме (в мм или мкм). Расчет таких координат выполняется по растровым координатам и известному размеру пикселя.

Цифровые изображения получают двумя способами, один из которых предполагает сканирование полученных в процессе аэрофотосъемки аэронегативов, а второй - непосредственно в процессе съемки, с использованием цифровых съемочных систем (сенсоров). В обоих случаях цифровое изображение формируется с помощью *приборов с зарядовой связью* (ПЗС) в форме ПЗС-матрицы или ПЗС-линейки с примерно одинаковыми техническими возможностями. При использовании ПЗС-матрицы кадр изображения формируется по схеме, аналогичной фотокамере, в фокальной плоскости которой вместо фотопленки располагается ПЗС-матрица. Применение ПЗС-линейки предполагает сканирование местности или изображения параллельными маршрутами.

Сканирование фотоснимков выполняется с помощью оптико-электронных приборов – сканеров различных конструкций, из которых в топографо-геодезическом производстве применяются только фотограмметрические сканеры планшетного или барабанного типа.

Фотограмметрические сканеры (рисунок 4.16) характеризуются высоким геометрическим разрешением и высокой геометрической точностью, определяемой величиной ошибки сканирования и повторяемостью (изменением ошибки в десяти сканированиях). С их помощью можно сканировать черно-белые (полутонные) или цветные снимки.

Некоторые фотограмметрические сканеры предусматривают возможность сканирования аэронегативов непосредственно с аэрофильмов, как это и практикуется в фотограмметрическом производстве.



Рисунок 4.16 – Фотограмметрический сканер RM-4 ("Геосистема", Украина) 1

Важнейшим этапом технологии формирования цифрового изображения является *эталонирование сканера*, особенно в случае, если он не является фотограмметрическим. Сущность эталонирования заключается в сканировании контрольной сетки с нанесенными на нее горизонтальными и вертикальными штрихами, расстояния между которыми известны с точностью 1–2 мкм.

На полученном изображении измеряют растровые координаты крестов контрольной сетки в системе, преобразуют их в линейную меру с учетом заданного геометрического разрешения и сравнивают полученные значения с точными координатами, отсчитанными по контрольной сетке. По найденным разностям координат соответствующих точек строят *поле искажений*, характеризующее все виды геометрических погрешностей, вносимых сканером в той или иной точке поля сканирования.

В последующем полученные этим сканером изображения могут быть исправлены в соответствии с параметрами поля искажений. Как свидетельствуют публикации, таким способом искажения фотограмметрического сканера можно уменьшить до 1 мкм.

Цифровые съемочные системы (сенсоры) представляют собой кадровые аэрокамеры или линейные сканеры, ориентированные на получение снимков местности. К особенностям таких камер относится то, что каждый пиксель формируемого изображения занимает строго определенное положение, а их последовательность определяет положение координатных осей измерительной системы, что исключает необходимость «впечатывания» координатных меток и внутреннего ориентирования полученных снимков, как это имеет место при использовании аналоговых аэрокамер.

Современная технология обработки материалов аэрофототопографической съемки предполагает получение цифровых топографических или специальных карт (планов) соответствующего содержания:

Цифровая карта (план) – это карта (план) в цифровой форме, обеспечивающей возможность ее хранения, манипулирования и отображения.

Цифровая модель местности (ЦММ) – совокупность информации о положении, характеристиках объектов местности, связях между ними, а также топографической поверхности, представленные в форме, доступной для обработки на ЭВМ.

Таким образом, цифровая карта (план) – это аналоговая карта (план) в форме базы данных или файла, которые становятся картой только при выводе на экран или при создании твердой копии. При этом математическая основа цифровой карты, проекция, разграфка, точность и др. остаются такими же, как и для соответствующей ей аналоговой карты. В то же время определение ЦММ не содержит привязки ни к какому-либо масштабу, ни к системе координат, ни к разграфке, ни к точности.

Основой для получения цифровых карт (планов) является цифровая

модель местности (ЦММ), в составе которой можно выделить цифровую модель ситуации (объектов контуров) и цифровую модель рельефа, которые можно определить следующим образом.

Цифровая модель ситуации (ЦМС) – совокупность информации о плановом положении, характеристиках объектов и связях между ними.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – информация о рельефе местности, представленная совокупностью точек с известными координатами и высотами, связей между ними и способа определения высот новых точек по их известным плановым координатам.

В составе ЦММ выделяется две составляющих:

позиционная (метрика), формируемая в процессе векторизации и определяющая описание положения объекта, его формы и размеров с помощью набора примитивов (точек, линий, дуг и др.);

непозиционная (семантика), создаваемая с помощью классификатора и определяющая содержание объекта, его свойства и отношения с другими объектами.

Для решения задач цифровой фотограмметрии на современном этапе развития применяются полнофункциональные цифровые фотограмметрические системы, ориентированные на решение всего комплекса задач по созданию топографических и специальных карт и планов, эксплуатируются во многих специализированных топографо-геодезических и изыскательских организациях.

4.8. Дистанционное зондирование Земли

Появившиеся в середине прошлого столетия мощные средства вычислительной техники, космические аппараты, оптические и электронные съемочные системы, а также достижения в области накопления, хранения и обработки цифровой информации привели к революционным технологическим преобразованиям в области традиционной аэро-фотосъемки.

Это нашло свое отражение в появлении и широком распространении обобщающего термина *remote sensing*, который можно перевести как *дистанционное восприятие* (распознавание, считывание), или *дистанционное зондирование*, относя его преимущественно к космическим съемкам, обладающим, в сравнении с аэрофотосъемкой, огромными преимуществами.

Дистанционным зондированием называют получение информации о пространственном положении и свойствах объектов и явлений без непосредственного контакта с ними, путем регистрации исходящего от них электромагнитного излучения. Это излучение характеризуется интенсивностью, спектральным составом, поляризацией и иными биогеофизическими параметрами, которые, в свою очередь, зависят от

свойств, состояния, пространственного размещения объекта и др.

Это позволяет не только изучать объекты косвенно (что и составляет сущность методов дистанционного зондирования), но и использовать полученные результаты в различных приложениях, тем более, что излучение, регистрируемое в различных спектральных диапазонах, содержит взаимодополняющую информацию.

Таким образом, физической основой дистанционного зондирования является прием и регистрация электромагнитных волн, содержащих наиболее полную информацию об объектах.

Регистрировать можно как собственное излучение объектов, так и отраженное ими излучение других источников, в качестве которых может быть Солнце или сама съемочная аппаратура. Во втором случае используется когерентное излучение (радары, сонары, лазеры), что позволяет регистрировать не только интенсивность отраженного сигнала, но и его поляризацию, фазу, доплеровское смещение и др. Работа как излучающей, так и регистрирующей аппаратуры не зависит от времени дня, но требует значительных затрат энергии.

Важнейшая особенность дистанционного зондирования состоит в том, что между регистрирующей аппаратурой и объектом (местностью) всегда находится слой атмосферы, которая, в общем, не является прозрачной. Поэтому съемка выполняется только в отдельных *окнах прозрачности* спектра электромагнитных волн соответствующих видимому (0,4–0,76 мкм), а также ближнему (0,76–3,0 мкм), среднему (3–5 мкм) и дальнему (8–14 мкм) инфракрасным диапазонам.

Результаты дистанционного зондирования представляются в виде снимков (рисунок 4.17), построенных путем регистрации яркостей объектов в том или ином спектральном диапазоне и различающихся формой представления, изобразительными, геометрическими и иными свойствами.

Изобразительные свойства характеризуют способность снимков воспроизводить мелкие детали, цвета и тоновые градации; *радиометрические свойства* характеризуют точность регистрации яркостей объектов; *геометрические свойства* снимков зависят от способа их формирования (кадровые, сканерные, панорамные и др.) и определяют возможности выполнения по ним измерительных действий.

Полученные в результате дистанционного зондирования снимки дешифрируют и подвергают фотограмметрической обработке. Задачей дешифрирования является



Рисунок 4.17 – Снимок ДЗЗ

распознавание изображенных на снимке объектов местности с учетом как дешифровочных признаков, так и специфики отображения объектов в зарегистрированном диапазоне волн. В результате дешифрирования должен быть получен ответ на вопрос «*что за объект изображен на снимке и каковы его свойства*».

Задачей фотограмметрической обработки является преобразование изображения в заданную проекцию одним из известных методов, что позволяет ответить на вопрос «*где расположен объект, какова его форма и размеры*». Технология фотограмметрических преобразований во многом определяется метрическими характеристиками изображений и формой их представлений.

Методы дистанционного зондирования базируются на использовании спутниковых систем, которые включают достаточно сложную инфраструктуру, обеспечивающую функционирование спутников на орбите, прием информации от спутников, ее первичную обработку, хранение и распространение. Первыми системами природо-ресурсного направления были системы первого поколения «Ресурс» (1970-е годы, СССР), «Landsat» (1972 г., США) и «SPOT» (1986 г., Франция).

В настоящее время на космических орбитах находятся десятки космических систем различного назначения, различающиеся точностными и иными характеристиками формируемых изображений, используемыми физическими принципами, назначением и др., которые в значительной степени определяют специфику их дальнейшей обработки.

Космический снимок, являющийся результатом дистанционного зондирования исследуемой поверхности, представляет собой изображение объекта, построенное путем его проектирования из одной или нескольких точек пространства на ту или иную поверхность по заданному закону.

Задача обработки изображений сводится к установлению связи между координатами отдельных точек в системах местности и изображения. Технология установления такой связи определяется техническими характеристиками съемочной аппаратуры, способом формирования изображения и параметрами орбиты космического аппарата.

В зависимости от физического принципа формирования изображения **съемочные системы** делятся на фотографические, радиолокационные, сканирующие и иные устройства различного типа.

Фотографическое изображение в большинстве случаев строится в центральной проекции и фиксируется на фотопленке, которая после экспонирования возвращается на Землю для фотохимической обработки в стационарных условиях. Для съемки используются кадровые, щелевые или панорамные фотокамеры, характеризующиеся повышенной автоматизацией, возможностью использования нескольких объективов и др.

Кадровые съемочные камеры формируют изображение одномоментно (в момент срабатывания затвора), из единого центра и по законам центрального проектирования. Принцип формирования изображения основан на проектировании точек местности через узкую щель, расположенную по ширине

пленки.

Одна из конструкций *щелевой* камеры предполагает получение изображения через неподвижную щель при синхронном перемещении пленки и самой фотокамеры относительно неподвижного объекта. Вторая конструкция основана на применении шторно-щелевого затвора и проектировании изображения местности через подвижную щель; при этом в течение экспонирования камера и пленка остаются неподвижными, а протяжка пленки осуществляется по достижению щелью края рабочей зоны кадра.

Панорамные фотокамеры имеют различные конструкции, в одной из которых изображение формируется путем проектирования через жестко связанную с подвижным объективом щель на цилиндрическую поверхность, перпендикулярную к направлению полета.

К очевидным достоинствам фотографических съёмочных систем относят высокие метрические и изобразительные свойства изображений, естественную для человека форму представления видеoinформации, возможность использования простых и хорошо отработанных способов и технических средств последующей фотограмметрической обработки материалов и т.д.

Принципиально важным недостатком фотографических систем является неоперативность, связанная с необходимостью доставки снимков на Землю.

Для получения радиолокационного снимка выполняется облучение поверхности с последующей регистрацией следующих параметров отраженных радиоволн:

- *времени прохождения сигнала* до объекта и обратно, определяющего наклонное расстояние от излучателя до объекта;
- *интенсивности принятого сигнала*, или радиояркости объектов;
- *направления на объекты* в системе координат локатора.

Из-за малого изменения дальностей до объектов, расположенных вблизи трассы полета, применение находят только радиолокационные системы бокового обзора, в которых сканирующие сигналы уклоняются от вертикали на 20–60°, а ближняя граница съёмки устанавливается на расстоянии около 1/3 от высоты съёмки.

С точки зрения использования радиолокационных снимков важны три обстоятельства, определяющие специфику их обработки:

- *наличие спекл-шумов* (мелкой пятнистости изображения), вызванных случайной интерференцией сигналов, отраженных от разных участков поверхности;
- *масштаб снимка* неоднороден: он мельче на переднем плане полосы обзора (когда угол визирования мал) и крупнее на дальнем плане, при увеличении угла.
- *смещение точек* снимка под влиянием рельефа местности обратно тому, что имеет место в центральной проекции.

Геометрические свойства радиолокационного изображения зависят от

изменения высоты полета, угловых перемещений спутника по курсу и тангажу, рефракции, рельефа местности и др.; их влияние можно ослабить или устранить оптическими или цифровыми преобразованиями.

Преимущества радиолокационной съемки связаны с собственным излучением и регистрацией отраженного сигнала, и, следовательно, с всепогодностью и независимостью от освещенности объектов.

Важнейшей особенностью сканирующих систем является преобразование исходящего от объектов местности электромагнитного излучения в электрические сигналы. При этом регистрируется как отраженное солнечное излучение в видимой части спектра, так и собственное тепловое излучение объектов с длиной волны от единиц до десятков мкм (т.е. в диапазоне, наиболее информативном для выявления месторождений нефти, газа, термальных вод, источников загрязнения окружающей среды и др.).

Результатом сканирования является изображение, сформированное из последовательно регистрируемых строк (*сканов*), перпендикулярных направлению полета спутника, или составляющих эти строки оптически однородных элементов (пикселей). Каждая очередная строка формируется за счет перемещения носителя, а их совокупность создает кадр.

Важными характеристиками сканера являются *угол сканирования*, определяющий длину строки (ширину полосы съемки), и *мгновенный угол зрения*, соответствующий одному элементу строки и определяющий мгновенное поле зрения. Угол сканирования изменяется от $\pm 2-5^\circ$ у детальных сканеров и до $\pm 50^\circ$ у обзорных; мгновенный угол зрения обычно составляет несколько миллирадиан (1 миллирадиан « 0,2").

В общем случае сканирующая система состоит из сканера, датчиков и входящих в них детекторов. *Датчик* собирает отраженную от Земли солнечную энергию, преобразует ее в электрический сигнал и представляет его в виде кода, удобного для передачи по каналам связи. *Детектор* – это часть датчика, осуществляющее регистрацию электромагнитного излучения.

Одним из основных узлов съемочной системы является *радиометр* (*фотометр*, *видеоспектрометр*), с помощью которого измеряется интенсивность излучения, зарегистрированного в пределах каждого пикселя. Конструкция многозонального сканера, предназначенного для получения снимков в нескольких спектральных зонах, дополняется светофильтрами или специальной системой, которая расщепляет лучистый поток на спектральные составляющие и направляет их на различные приемники. Разрабатываемые в США *гиперспектральные радиометры* способны осуществлять регистрацию излучений в 200 и более рабочих каналах.

В настоящее время используются два принципиально различных типа сканера: оптико-механический и оптико-электронный.

Обязательным условием получения метрически корректных сканерных снимков является использование спутниковых измерений и информации датчиков положения плоскости изображения (абсолютных углов ее

наклона) в каждый момент времени не реже 100 раз в секунду; принципы работы таких датчиков не отличаются от используемых инерциальными приборами. Совместная обработка этих данных позволяет воссоздать точную траекторию движения спутника, а их синхронизация со временем получения каждой строки изображения – получить элементы ее внешнего ориентирования и воссоздать геометрически точное изображение, отнесенное к горизонтальной плоскости.

5 СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1 Электронная тахеометрия

Электронный тахеометр объединяет теодолит, светодаальномер и микро-ЭВМ, позволяет выполнять угловые и линейные измерения и осуществлять совместную обработку результатов этих измерений (рисунок 5.1). Ведущие производители электронных тахеометрических систем: «Spectra Precision» (Швеция/Германия), «Leica» (Швейцария), «Sokkia», «Topcon», «Nikon», «Pentax» (Япония), «Trimble» (США), «УОМЗ» (Россия).



Рисунок 5.1 – Электронный тахеометр Leica

Электронные тахеометры (ЭТ) делят на ЭТ с визуальным отсчетом углов и ЭТ с электронным отсчетом (Total station – универсальные станции).

В первом случае снимаемые визуально отсчеты по шкаловому микрометру или оптическому микрометру вводят в процессор ручным набором на клавиатуре, а во втором углы в цифровом виде выводятся на табло. Линейные величины выводятся на табло во всех случаях.

Автоматическое считывание углов выполняется путем их перевода в электрические сигналы при помощи **аналого-цифровых преобразователей** (АЦП). Применяют в основном два вида АЦП – кодовый и инкрементальный (цифровой, дигитальный).

При кодовом методе лимб является кодовым диском с системой кодовых дорожек, обеспечивающих создание сигналов 0 и 1 в двоичной системе исчисления или сигналы в двоично-десятичных кодах, циклических и др., а также коды с избыточностью (корректирующие коды), позволяющие обнаруживать и исправлять ошибки. Кодовый метод является абсолютным, при котором каждому направлению однозначно соответствует определенный кодированный выходной сигнал. Для считывания информации с кодовых дисков обычно используют фотоэлектрический способ, при котором диск просвечивают световым пучком, поступающим на фотоприемное устройство, и в результате на выходе получают комбинации электрических сигналов, соответствующих определенным значениям

направлений. Затем электрические сигналы поступают в логические схемы, и в итоге измеряемая величина в цифровом виде воспроизводится на табло.

В инкрементальном методе используют *штриховой растр* (систему радиальных штрихов), который через одинаковые интервалы (до 100 штрихов на 1 мм) наносят на внешний край лимба или алидады. Штрихи и равные им по толщине интервалы создают последовательность элементов «да-нет», которые называют *инкрементами*.

Считывание выполняют также оптическим методом, числу прошедших инкрементов соответствует число световых импульсов, поступивших на светоприемник. Для учета направления вращения круга используют два фотоприемника, воспринимающих импульсные сигналы, сдвинутые по фазе на 90° , что достигается соответствующим размещением фотоприемников относительно растра или использованием двух одинаковых растров, сдвинутых относительно друг друга на $1/4$ инкремента.

Инкрементальный метод является относительным, которым измеряют углы, а кодовым, который является абсолютным, – направления. Для повышения точности применяют системы, содержащие несколько расположенных определенным образом относительно круга пар фотодиодов, сигналы от которых сдвинуты по фазе, совместная обработка сигналов дает высокое угловое разрешение.

Микропроцессоры в электронных тахеометрах используют для управления, контроля и вычислений. На табло по команде с пульта управления процессора могут выдаваться наклонные расстояния, горизонтальные проложения, горизонтальные и вертикальные углы, превышения и др. В электронных тахеометрах последних моделей имеются микроЭВМ с памятью и устройством ввода и вывода данных, с регистрацией информации в запоминающем устройстве и ее выводом на внешний накопитель.

Имеется возможность в соответствии с заложенными программами в полевых условиях решать различные геодезические задачи, результаты могут выдаваться на табло, записываться в память или могут быть переданы на подключенный к прибору внешний накопитель информации.

Внешний полевой накопитель («электронный полевой журнал») хранит полученную в поле информацию для последующей обработки в камеральном вычислительном центре. Следовательно, современные электронные тахеометры позволяют создавать комплексную систему автоматизированного картографирования, состоящую из электронного тахеометра, полевого накопителя информации, стационарной ЭВМ и графопостроителя.

Использование электронных тахеометров связано с изменением традиционных методик и технологий геодезических работ. Так, по сравнению с существующей технологией выполнения традиционных топографических съемок электронная тахеометрия имеет ряд неоспоримых преимуществ.

В случае использования электронных тахеометров можно осуществить топографические съемки путем реализации технологий электронно-блочной тахеометрии. Общая их сущность заключается в том, что весь объект, подлежащий съемке, разделяют на отдельные участки-блоки. В пределах блока съемку выполняют с одной установки электронного тахеометра. При этом съемочное обоснование предварительно не создается, оно формируется в процессе съемочных работ.

Электронно-блочная тахеометрия может быть реализована в нескольких вариантах: последовательно расположенными станциями (последовательная тахеометрия), свободными станциями (кусочная тахеометрия) и их комбинацией. В любом случае связь между блоками обеспечивается наличием связующих точек.

Тахеометрия свободными станциями основана на использовании для определения положения станций пространственных угловых, линейных и комбинированных засечек. Для осуществления этой технологии съемки достаточно иметь разреженную, произвольно расположенную геодезическую основу. Привязка свободной станции производится к минимальному числу исходных пунктов, ее координаты можно определить способами обратных линейно-угловых засечек (рисунок 5.2).

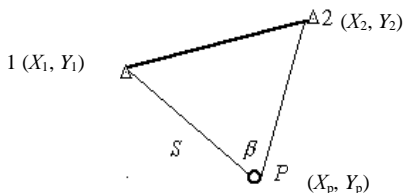


Рисунок 5.2 – Схема обратной линейно-угловой засечки

Положение съемочной станции P можно получить путем измерения расстояния S на один из исходных пунктов и угла β между двумя исходными пунктами. Тогда

$$X_P = X_2 + S_{2P} \cdot \cos \alpha_{2P};$$

$$Y_P = Y_2 + S_{2P} \cdot \sin \alpha_{2P}$$

где $\alpha_{2P} = \alpha_{21} - \gamma$; $\gamma = \arcsin [(S \cdot \sin \beta) / b]$;
 $S^2_{2P} = b^2 + S^2 - 2bS \cdot \cos[(180^\circ - (\beta - \gamma))]$.

При использовании общепринятых схем засечек отметим, что для определения положения съемочной станции, кроме плановых координат исходных пунктов, необходимо знать и их высоты.

Определение отметок станций электронным тахеометром осуществляется тригонометрическим нивелированием, для этого необходимо со станции измерить угол наклона и расстояние на точку, отметка которой известна (рисунок 5.3).

$$H_{ст} = H_{исх. п} - h - i;$$

где $h = S \cdot \sin \nu = d \cdot \operatorname{tg} \nu$;

d – горизонтальное проложение, которое можно определить согласно рисунку 5.4 по формуле

$$d = b \cdot \sin \beta_2 / \sin(\beta_1 + \beta_2).$$

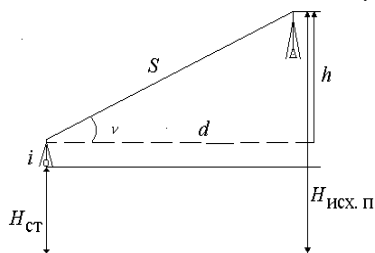


Рисунок 5.3 – Схема определения отметки съёмочной станции

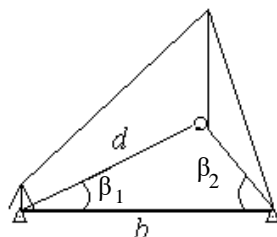
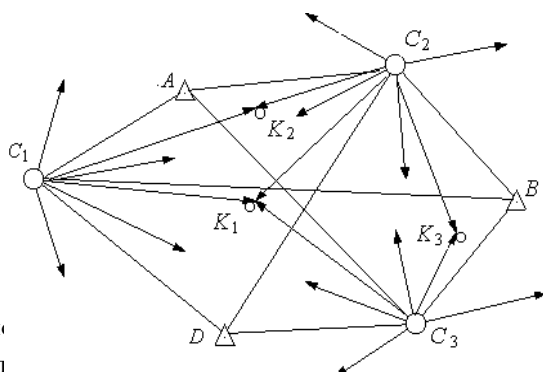


Рисунок 5.4 – Схема определения горизонтального проложения ковенным способом

Тахеометрия свободными станциями представлена на рисунке 5.5.



Рисун

три

Здесь посл... расположения станций $C_1, C_2, C_3 \dots$ не регламентируются ничем, кроме как видимостью на пункты геодезической основы A, B и D . В процессе съёмки для контроля ряд точек $K_1, K_2, K_3 \dots$ определяют дважды от разных съёмочных станций (блоков). Контроль также может быть осуществлен путем выполнения избыточных измерений. Особенностью данного способа является и то, что съёмку можно производить с высоких устойчивых средств передвижения или на за-строенных территориях с крыш высотных зданий с хорошим круговым обзором местности, что обеспечивает большой радиус съёмки.

В качестве пунктов исходного геодезического обоснования, используемых для определения координат и высот станций кусочно-блочной тахеометрии, могут служить маячковые пикеты. Ими являются местные предметы (телевышки, дымовые трубы, шпили зданий, громоотводы и т.п.), координаты и высоты, верха которых или их характерных элементов известны.

Как уже отмечалось, наиболее рациональными геодезическими построениями при реализации электронно-блочной тахеометрии являются

геодезические засечки. Наиболее оптимальным видом засечки будет комбинированная, т. к. при этом выполняется минимум измерений (см. рисунок 5.2).

При последовательном осуществлении ряда комбинированных засечек формируется последовательная электронно-блочная тахеометрия, одной из особенностей которой является создание съемочного обоснования совместно со съемкой пикетов. Она может быть представлена с полной (а) или координатной (б) привязкой, в виде замкнутых (в) или висячих (г) ходов (рисунок 5.6).

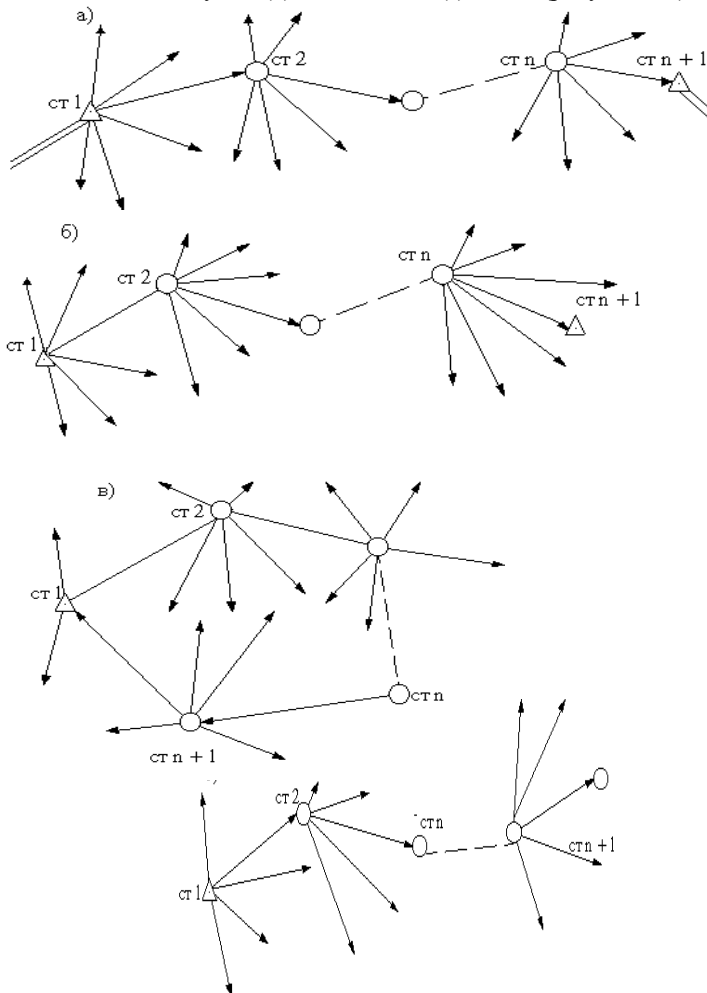


Рисунок 5.6 – Схемы последовательной электронно-блочной тахеометрии
 Другой особенностью электронно-блочной тахеометрии является то, что в ходовой линии (за ходовую линию принимается линия, проложенная

между опорными геодезическими пунктами и всеми станциями) для каждой стороны известны приращения координат, а горизонтальные углы – только на станциях стояния инструмента (рисунок 5.7).

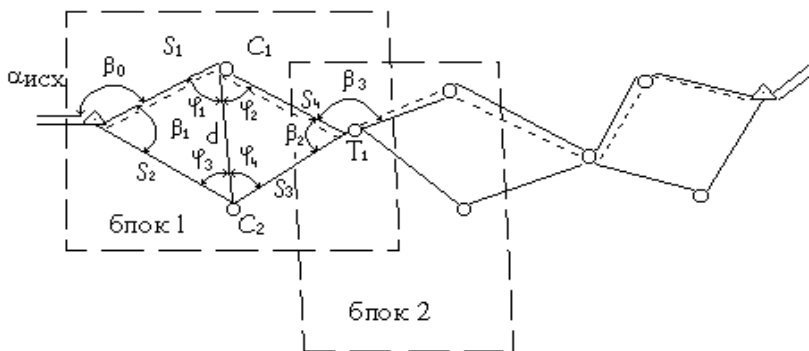


Рисунок 5.7 – Схема хода

Отличием данного метода является то, что необязательна видимость между смежными съёмочными станциями, на которых устанавливается электронный тахеометр. Связь между соседними блоками осуществляется только наличием двух связующих точек на каждой из смежных сторон блоков.

Методика выполнения съёмки пикетов при электронно-блочной тахеометрии возможна по следующим схемам (рисунок 5.8).

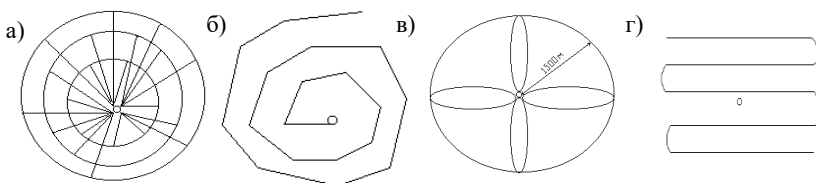


Рисунок 5.8 – Схемы съёмки пикетов при электронно-блочной тахеометрии:
а – по радиусу; б – по спирали; в – лучевой; г – зигзагом

При наборе съёмочных пикетов по таким схемам легко осуществляется контроль их расположения, который зависит от расположения самого пикета на съёмочной линии. При корректировке съёмки легко восстанавливается положение любого пикета по его номеру.

Последними разработками в области электронной тахеометрии являются комплексы, в которых электронный тахеометр и спутниковый (GNSS) приемник объединены в одну систему, например *SmartStation* компании «Leica» (рисунок 5.9). Преимуществом данной системы является то, что при съёмке нет необходимости в наличии опорного обоснования,

прокладки длинных ходов и выполнении обратных засечек. *SmartStation* устанавливается там, где удобно, GNSS-приемник определит местоположение и можно начинать съемку тахеометром. Полная совместимость с GPS предоставляет новые возможности при выполнении съемок. Съемка легче, быстрее и с меньшим количеством перестановок.



Рисунок 5.9 – Система SmartStation

Электронная тахеометрия позволяет решать следующие задачи:

- 1) сгущение геодезической сети методом полигонометрии;
- 2) измерение сторон в трилатерации;
- 3) создание планово-высотного обоснования;
- 4) привязка снимков;
- 5) топографическая крупномасштабная съемка местности;
- 6) геодезические работы при инженерно-геодезических изысканиях;
- 7) геодезическое обеспечение монтажных работ при строительстве зданий и инженерных сооружений;
- 8) геодезические работы на строительных площадках и многие другие задачи геодезии, земельного и городского кадастра и т. п.

5.2 Технология наземного лазерного сканирования

В последнее время технология наземного лазерного сканирования все шире используется для решения задач инженерной геодезии в различных областях строительства и промышленности. Растущая популярность лазерного сканирования обусловлена целым рядом преимуществ, которые дает новая технология по сравнению с другими методами измерений. Среди преимуществ хочется выделить главные: повышение скорости работ и уменьшение трудозатрат.

Технология наземного лазерного сканирования стала возможна, благодаря появлению новых геодезических приборов – наземных лазерных сканеров (НЛС) (рисунок 5.10).

Принцип работы сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра, но значительно превосходит его по эффективности, и основан на измерении расстояния до объекта с помощью безотражательного лазерного дальномера и задании двух углов направления лазерного луча, что в конечном итоге дает возможность вычислить пространственные координаты точки отражения. За самое короткое время объект съемки представляется в виде набора из сотен тысяч или миллионов точек.

С целью обеспечения наиболее высокой точности сканирования необходимо выполнить прогрев лазерного сканера в течение времени установленного производителем, который позволит вывести сканер на максимально стабильный режим работы, и ввести параметры атмосферы (температуру и давление).

Съемка с применением НЛС полностью автоматизирована, поэтому участие оператора сводится только к указанию области съемки и заданию ее параметров. Процесс сканирования никаких сложностей не представляет и зависит только от используемого программного обеспечения. Но в любом случае на экране портативного компьютера нужно выделить тем или иным способом область сканирования на предварительно получаемом с помощью фото - или видеокамеры, входящей в состав НЛС, изображении, указать параметры сканирования и запустить процесс съемки.

Плотность точек на поверхности снимаемого объекта определяется следующими параметрами сканирования: задаваемым количеством измеряемых точек и расстоянием до объекта.

В результате съемки лазерным сканером получается несколько облаков точек. Для того чтобы измерить сложный инженерный объект полностью, его нужно отсканировать со всех сторон. Основной формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив (облако) точек (рисунок 5.11) лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, со следующими характеристиками: пространственными координатами (X , Y , Z), интенсивностью и реальным цветом. По облаку точек в дальнейшем можно решать различные задачи:

- получение трехмерной модели объекта;



Рисунок 5.10 – Лазерный сканер «Leica C10»

- получение чертежей, в том числе чертежей сечений;
- выявление дефектов и различных конструкций посредством сравнения с проектной моделью;

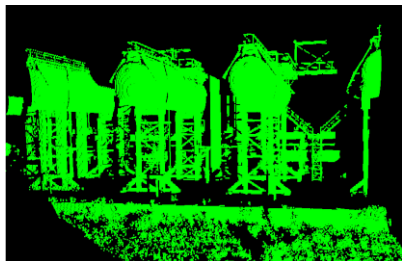


Рисунок 5.11 – Облако точек лазерного сканирования (скан)

- определение и оценка значений деформации посредством сравнения с ранее произведенными измерениями;
- получение топографических планов методом виртуальной съемки.

Наиболее сложным и трудоемким этапом работы в применении НЛС является обработка съемочных данных, т. е. объединение отдельных сканов (сшивка) в единое геометрическое пространство для получения описания объекта съемки (рисунок 5.12) Сшивка (или регистрация) представляет собой уравнивание данных сканирования с разных станций, в единую систему координат.

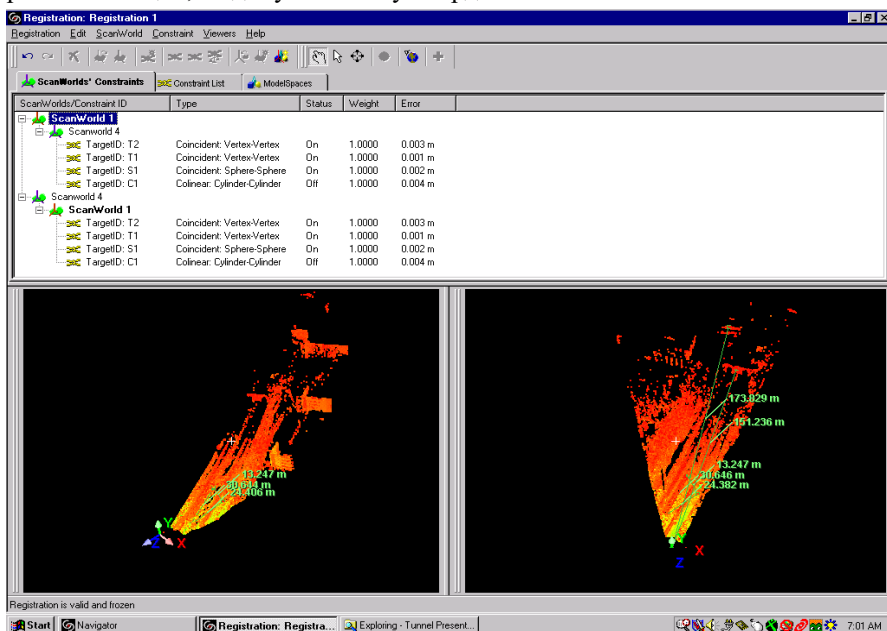


Рисунок 5.12 – Объединение (сшивка) сканов в единое облако точек

Существует несколько **методов сшивки**:

- сшивка по специальным плоским маркам-отражателям (расклеиваются на объекте и сканируются отдельно во время полевого

этапа);

- *шивка по маркам-сферам* (аналогично плоским маркам);
- *шивка по характерным точкам* (не требует на полевом этапе использования марок вообще);
- *автоматическая подгонка* (программный способ шивки, когда итерационный алгоритм смещает один скан относительно другого и находит оптимальное положение по минимальному расстоянию между точками этих сканов);
- *геопривязка* (позволяет привязать каждый скан или все измерения в заданную систему координат).

Для построения крупномасштабных планов оптимальным является первый способ. Хотя, в отличие от шивки по характерным точкам, он требует дополнительной работы в поле (развешивания и последующего собирания марок); шивка по специальным плоским маркам-отражателям дает большую точность шивки, а также уменьшает время камеральных работ. Шивка методом автоматической подгонки или по характерным точкам мало подходит для высокоточных измерений из-за влияния вероятностного расположения исходных точек сканирования, не позволяющая точно проконтролировать результаты шивки, но это единственные методы шивки, которым можно воспользоваться в случаях съемки объектов, размещение светоотражающих марок на которых не представляется возможным или связано с большими трудностями. Например, при съемке воздушного газопровода, свода крыши и т.д.

Перед передачей в САД-программы сшитые облака точек необходимо обработать. Эти работы можно производить в программном обеспечении, например *Cyclone*, которое позволяет оперативно обрабатывать сотни миллионов точек благодаря системе управления *уровнем детализации (Level of Detail)* отображаемой графической информации.

Существует программный инструментарий, позволяющий выделить слой точек, лежащих в определенном сечении облака точек и на заданном расстоянии от него. По результатам отфильтрованного облака точек, лежащего в таком слое, можно получить векторные изображения объектов, спроецировав оставшиеся точки в плоскость сечения и соединив соседние точки отрезками прямых.

Полученное векторное изображение объектов дорабатывается до получения планов с отображением конструкций, расстановкой размеров и нанесением иной технической информации в условных обозначениях, принятых в технической инвентаризации в САД-программах.

Высокая оперативность сбора пространственных данных об объектах съемки делает наземное лазерное сканирование весьма перспективным методом получения информации при организации мониторинга сложных

инженерных сооружений.

5.3 Спутниковые радионавигационные системы

В настоящее время в геодезии, где требуется знание положения объектов в пространстве, широко применяются **спутниковые радионавигационные системы (СРНС)**. К ним относятся глобальная система NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System – США) и ГЛОНАСС

(ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система – Россия). Странами Европы ведутся разработки по созданию еще одной подобной системы Galileo.

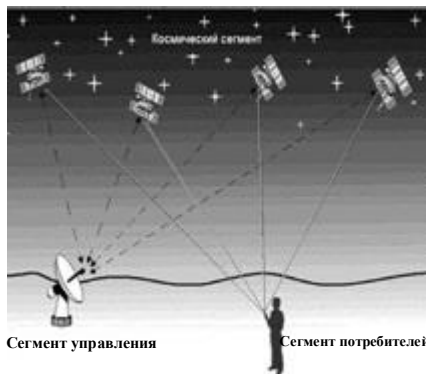


Рисунок 5.13 – Сегменты СРНС и сегмент пользователей.

Спутниковая система NAVSTAR GPS (или кратко – GPS). Сейчас она является наиболее распространенной и широко используемой. Система состоит из трех сегментов (рисунок 5.13) – это космический сегмент, наземный сегмент управления и

Космический сегмент включает 24 искусственных спутника Земли (ИСЗ), обращающихся вокруг Земли по шести орбитам, близким к круговым, на высоте около 20183 км, чему соответствует период обращения, равный половине звездных суток (11 ч 57 мин 58,3 с). Наклонение орбит – 55°. При этом в любом месте Земли, если нет заслоняющих препятствий, обеспечена одновременная видимость на высоте более 15° от 4 до 11 спутников (рисунок 5.14).

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



Подсистема космических аппаратов GPS



Рисунок 5.14 – Космический сегмент систем ГЛОНАСС и GPS

На каждом спутнике установлены: водородный стандарт частоты и времени, генерирующий опорную частоту 10,23 МГц с суточной нестабильностью 10^{-14} – 10^{-15} и формирующий несущие частоты радиоизлучения L_1 и L_2 , радиопередатчик (для посылки сигналов потребителям) и приемник (для

приема информации от наземного сектора управления). Кроме того, имеются бортовой вычислительный процессор, солнечные батареи, аккумуляторы, системы ориентации и коррекции орбиты.

Наземный сектор управления выполняет определение параметров орбит и ошибок часов спутников, закладку навигационной информации на спутники и контроль функционирования технических средств системы. В состав сектора входят главная контрольная станция, станции слежения, управляющие станции (рисунок 5.15).

Сектор пользователей представляет собой множество технических средств, находящихся на поверхности Земли, в воздухе или околоземном космическом пространстве и выполняющих прием информации со спутников для измерения пара метров, которые связывают положение аппаратуры пользователя с расположением спутников (рисунок 5.16). В результате обработки измеренных параметров получают координаты приемника пользователя, а при необходимости, и скорость его движения.



Рисунок 5.15 – Оборудование Leica для базовых GPS станций ATHENA Program



Рисунок 5.16 – Полевые геодезические приемники Leica System 1200

Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС разработана в 70-е годы на основе опыта эксплуатации предшествующей доплеровской СРНС «Цикада». Первые спутники системы ГЛОНАСС («Космос-1413»,

«Космос-1414» и «Кос-мос-1415») были запущены в 1982 г. Далее сеть спутников наращивалась с темпом 1–2 запуска в год. В 1988–1991 гг. началась эксплуатация системы. С 1995 г. она используется для гражданского применения. Параметры системы ГЛОНАСС приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. – Параметры СРНС

| Тип системы | ГЛОНАСС | GPS |
|---------------------|------------------|--------------------|
| Число ИСЗ в системе | 24 | 24 |
| Число орбит | 3 (через 120°) | 6 (через 60°) |
| Число ИСЗ на орбите | 8 (через 45°) | 4 (через 90°) |
| Тип орбиты | Круговая | Круговая |
| Высота орбиты | 19 100 км | 20 145 км |
| Наклонение орбиты | 64,8° | 55° |
| Период обращения | 11 ч 15 мин 44 с | 11 ч 57 мин 58,3 с |
| Система координат | ПЗ-90 | WGS-84 |

В системе ГЛОНАСС излучаемые спутниками частоты также модулированы дальномерными кодами и навигационным сообщением. Но в отличие от GPS коды всех спутников одинаковы, а разделение сигналов различных спутников – частотное.

Для производства измерений датчик устанавливают на штативе или на полуметровой штанге, применяемой для выполнения кратковременных измерений. Управление приемником выполняется с помощью клавиатуры и дисплея контроллера.

Режимы наблюдений спутниковыми приемниками подразделяются на абсолютные и относительные. При *абсолютных* наблюдениях, используя кодовые измерения, определяют координаты пунктов, а при *относительных* – приращения координат (иногда их называют вектором базы между пунктами).

В геодезической практике часто используются *относительные* измерения как наиболее точные. Существуют несколько режимов относительных наблюдений, которые, в свою очередь, подразделяются на

две группы: *статические* и *кинематические*. При любом режиме относительных измерений один из приемников находится на пункте с известными координатами, а другие – на определяемых пунктах.

Статика. Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения одного пункта колеблется от 40 мин до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т.п.).

Быстрая статика. Это разновидность статического режима измерений, при котором время наблюдений может быть сокращено до 10–15 мин. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда получен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны.

Кинематика. При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют *роверным* (*rover* – скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Такой метод называют «стой и иди» (*stop and go*). Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т.е. с начальных измерений, при которых выполняется разрешение неоднозначности.

Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга; время измерений составляет примерно 15 мин. Если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достигать 1 ч.

После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников. На крытой местности, особенно под мостами, могут возникать срывы непрерывных измерений, о чем приемник информирует наблюдателя звуковым сигналом и записью на дисплее. В таком случае необходимо вернуться на один из ранее определенных пунктов или перейти в режим статики и повторить инициализацию приемников. При установке роверного приемника на определяемом пункте оператор записывает его название (или номер), определяет высоту приемника над пунктом и вводит эти данные в приемник.

Кинематика «в полете». Кинематика «в полете» (*on the fly* – OTF) – это разновидность кинематического режима наблюдений без инициализации приемников. Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 мин. За это время накапливается достаточное количество

информации для успешного разрешения неоднозначности.

Кинематика в реальном времени. При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют режим «кинематика в реальном времени» (Real Time Kinematics – RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на роверные приемники. На роверных приемниках осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

Результаты измерений регистрируются на жестких картах памяти и обрабатываются на персональных компьютерах с помощью специального программного обеспечения.

5.4 Применение комплексных систем для съемки железных дорог

Для обеспечения в области съемки железных дорог были разработаны специальные комплексные системы. Данные технологии являются совместными разработками швейцарских фирм Leica Geosystems и Amberg Meastechnik. В них заложено использование высокотехнологичного измерительного оборудования и мощного пакета программного обеспечения.

Система *LEICA TMS* (рисунок 5.17) используется для геодезического обеспечения и контроля процессов эксплуатации железнодорожного пути.



Рисунок 5.17 – Система LEICA TMS

Система состоит из двух главных компонентов: электронных тахеометров *LEICA TPS1100plus* (или лазерных сканеров *LEICA HDS4500*) и программного обеспечения *LEICA TMS Office*, *LEICA TMS SETOUT*, *LEICA TMS PROFILE*.

Автоматическое измерение профилей и определение геометрии пути осуществляется на базе технологии измерения представленной на рисунке

5.18. Использование радиомодема и функции автоматического наведения на цели дает возможность дистанционного управления работой прибора с любой точки. Загрузка проектных данных и запись данных измерений может выполняться с помощью полевого компьютера или карты памяти *PCMCIA*.

LEICA GPR5000 – измерительная система для съемки железнодорожного полотна и туннелей с помощью высокоскоростного сканера *LEICA HDS4500*, установленного на измерительной тележке с прецизионными датчиками. Скорость сканирования составляет 625 000 точек в секунду и обеспечивает детальную съемку железнодорожного полотна в радиусе 53 м в кинематическом режиме. Датчики автоматически регистрируют превышение и ширину рельсов.

Программный модуль *LEICA TMS OFFICE* обеспечивает хранение всех проектных и измерительных данных, а также их обработку по методике, единой для всех области применения данной системы измерения.

Программный модуль *LEICA TMS PROFILE* предназначен для автоматического измерения профилей.

Программный модуль *LEICA TMS SETOUT* используется для выноса проектных данных.

Преимущества использования таких систем очевидно:

- повышение безопасности путем обеспечения высокой точности местоположения и геометрии рельсов, а также своевременного обнаружения возможных источников аварийных ситуаций;

- повышение скорости и увеличение частоты прохождения поездов;

- уменьшение затрат по реконструкции;

- уменьшение времени простоя и остановки железнодорожного движения;

- многофункциональность применения системы.

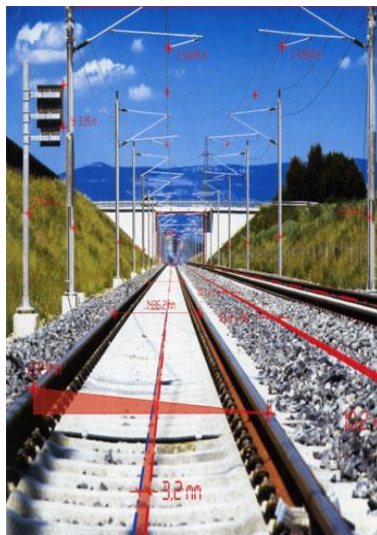


Рисунок 5.18 – Определение геометрии пути

5.5 Понятие о геоинформационной системе

Геоинформационная система (ГИС) – автоматизированная информационная система, предназначенная для обработки пространственно-временных данных, основой интеграции которых служит геоинформация.

ГИС можно представить в виде трехуровневой структуры,

включающей системный уровень:

- сбора и первичной обработки информации;
- моделирования, хранения и обновления информации;
- представления.

В технологиях ГИС используются три типа экспертных систем (ЭС):

- на уровне сбора информации – система автоматизированного распознавания образов при обработке фотоснимков или сканировании картографических изображений;

- на уровне моделирования – ЭС автоматизированного редактирования картографических данных. Для управления и принятия решений применяются ЭС анализа атрибутивных данных, данных о запросах пользователей и др.;

- на уровне представления данных – ЭС генерализации картографических изображений.

В качестве базовых моделей данных в ГИС, как и в других автоматизированных системах, применяют инфологические (объектные), иерархические, реляционные и сетевые модели. Особенностью ГИС является наличие большого объема пространственно-временной и графической информации. Местоположение объектов ГИС определяется классом координатных (позиционных) данных. Для определения параметров времени и организации описательной информации используется класс атрибутивных данных.

Источниками данных в ГИС являются:

- существующие топографо-геодезические и картографические материалы;
- материалы дистанционного зондирования;
- данные наземных измерений;
- атрибутивные данные из предметной области.

Класс координатных данных отражает метрическую информацию ГИС, представленную совокупностью геометрических элементов: точек, линий, контуров и площадей. Основной формой представления координатных данных являются цифровые модели. Для визуализации координатных данных используются графические модели.

Класс атрибутивных данных представляет собой совокупность временных и описательных данных объектов ГИС. Атрибутивные данные чаще всего представляют в табличной форме.

Качество данных в ГИС определяется следующими характеристиками:

- позиционной точностью;
- точностью атрибутов;
- логической непротиворечивостью;
- полнотой;
- происхождением.

Графические модели координатных данных в ГИС. Основу графической среды и визуализации данных в ГИС составляют векторные и

растровые модели. Особенностью организации графических данных в ГИС является поддержка оверлейных структур. Их отличие от систем САД состоит в том, что слои в ГИС могут быть как векторными, так и растровыми. Векторные слои в ГИС являются объектными, т.е. они несут информацию об объекте, а не об отдельных элементах объекта, как в САПР.

Векторные модели могут быть топологическими (если они поддерживают топологию графики) или нетопологическими.

ГИС могут одновременно поддерживать как растровую, так и векторную формы представления графики. Такие ГИС называют гибридными.

Современные ГИС позволяют выполнять пространственное моделирование объектов и явлений.

При моделировании в ГИС выделяют следующие виды операций с данными:

- преобразование форматов и представлений данных;
- проекционные преобразования;
- геометрический анализ данных;
- оверлейные операции;
- функционально-моделирующие операции.

Операции преобразования форматов и представлений присутствуют в каждой ГИС и необходимы как средства обмена данными с другими автоматизированными системами. Тип формата определяется используемым программным обеспечением и технологиями сбора данных. Преобразование форматов осуществляется с помощью программ-конверторов.

Графические данные могут иметь растровое или векторное представления, имеющие существенное различие. Векторное представление имеет большие аналитические возможности, чем растровое. Операция преобразования растрового изображения в векторное (векторизация) является одной из основных при обработке графических данных в ГИС. В состав любой ГИС входит специальная программа векторизации – графический редактор. Существуют и специальные программы-векторизаторы.

Для определения положения объектов в пространстве существует множество систем координат. Для изображения поверхности земли на плоскости применяют различные математические модели – картографические проекции.

Группа математических процедур ГИС, осуществляющих переход от одной системы координат к другой, от пространственной системы координат к картографической проекции или переход от одной картографической проекции к другой, носит название *проекционных преобразований*.

Особенностью цифровых карт в ГИС является возможность их организации в виде множества слоев (покрытий или карт-подложек). Сущность оверлейных операций состоит в наложении разноименных слоев с образованием производных объектов и наследованием атрибутов.

Программные средства ГИС позволяют выполнять ряд операций геометрического анализа. Для векторных моделей такими операциями являются определение расстояний, длин кривых, площадей фигур, трансформирование точек объекта и др.

В ГИС используются различные аналитические операции: это расчет и построение буферных зон, анализ сетей, генерализация, цифровое моделирование и др.

Развитие автоматизированных методов обработки пространственной информации привело к появлению нового направления в моделировании – цифрового моделирования. Основными элементами цифрового моделирования являются ЦМР, ЦММ, цифровая модель объекта (ЦМО). Цифровые модели широко используются в ГИС, САПР и АСУ.

Работа с информацией в ГИС осуществляется комплексом программ под управлением той или иной операционной системы. Обычно ГИС состоит из двух основных частей – графического редактора и системы управления базами данных (СУБД).

В любой ГИС осуществляются:

- ввод и вывод информации;
- управление графическими и тематическими базами данных, обеспечивающее связь между этими базами для правильной и синхронной работы с объектами. Под управлением понимается создание баз определенной структуры и заполнение их, поиск информации в базах, сортировка, редактирование и пополнение информации, выдача информации по запросам и ряд других операций;

- визуализация информации, т.е. наглядное представление (отображение) на экране монитора информации, хранящейся в цифровой форме в графических и тематических базах; при этом информация может быть выдана на экран, как в виде картографического изображения, так и в виде таблиц, графиков, диаграмм и т.п., отображающих результаты выполненного анализа информации;

- работа с картографическим изображением: перемещение его в произвольном направлении; масштабирование; настройка элементов оформления изображения (цвет, тип линий и т.п.); управление окнами на экране; редактирование изображения и т.д.;

- совместный анализ графической и тематической информации, позволяющий выявлять связи и закономерности между объектами и явлениями, динамику развития тех или иных процессов.

Созданием ГИС занимаются многие зарубежные и отечественные

фирмы, и к настоящему времени разработано большое количество различных ГИС. В литературе по ГИС принято деление этих систем на два класса (или два уровня). К ГИС первого уровня относят наиболее мощные системы, ориентированные на использование рабочих станций, работу в сетях и с огромными объемами информации, поддерживающие много форматов обмена данными, имеющие большой набор функций для анализа пространственных и всевозможных иных данных и большое количество приложений для использования ГИС в различных областях деятельности. ГИС второго уровня предназначены для работы на персональных компьютерах. Они поддерживают небольшое число обменных форматов, имеют ограниченный набор функций анализа данных и ограничения на объемы обрабатываемой информации.

Из ГИС первого уровня наибольшее распространение имеют ГИС *MGE* фирмы «*INTERGRAPH*» и ГИС *ARC/INFO* фирмы «*ESRI*». Названные фирмы выпускают варианты своих ГИС, ориентированные на использование как на мощных компьютерах, так и на менее мощных. Из характерных представителей ГИС второго уровня можно назвать такие, как *MapInfo* фирмы «*Mapinfo Corporation*» (США), «*Панорама*» и «*Нева*» (Россия), «*КРЕДО-ДИАЛОГ*» (Беларусь) и др.

При описании того или иного программного продукта принято различать две его стороны:

- техническое обеспечение, т.е. комплекс применяемых аппаратных средств (*Hardware*, что в буквальном переводе означает «твердые изделия»);
- программное обеспечение (*Software*, буквально, – «мягкие изделия»).

Техническое обеспечение различных по своим возможностям ГИС имеет определенные отличия. Ниже перечислены аппаратные средства, составляющие некоторый типовой комплекс:

- персональный компьютер или рабочая станция (более мощный компьютер);
- внешние запоминающие устройства-накопители на гибких, жестких и оптических дисках; последние должны иметь самое широкое применение, поскольку велики объемы хранимой в ГИС информации;
- устройства ввода информации (сканер и дигитайзер);
- устройства вывода информации (принтер и плоттер);
- средства телекоммуникаций для работы в сети.

Графическая информация, хранящаяся в графических базах данных, структурирована по объектам. Большинство ГИС оперируют с объектами следующих типов:

- точки (точечные объекты);
- линии и полилинии;
- области (регионы, полигоны);
- текст (текстовые объекты).

Тематическая информация в ГИС хранится в базах данных. *База данных*

– это поименованная совокупность данных, имеющих определенную структуру и находящихся под управлением специального комплекса программ СУБД. Для эффективного манипулирования данными в базах должны быть проработаны вопросы их структуры, алгоритмов обработки (ввод, размещение, обновление, удаление, поиск, выдача) и языков общения с базами данных. Для решения перечисленных вопросов были предложены разные варианты, что и привело к созданию различных баз данных и управляющих ими СУБД.

Результатом выполненной в ГИС обработки информации могут быть:

- картографические изображения; при этом возможно наглядное выделение (цветом, толщиной линий, штриховкой и т.п.) тех объектов или явлений, для характеристики которых производится расчет и анализ;
- графики и диаграммы; используются чаще всего при статистической обработке данных;
- таблицы.

Перечисленные результаты работы могут быть представлены разными способами:

- выведены на экран монитора;
- записаны в виде файлов на внешние запоминающие устройства (жесткие, гибкие и оптические диски, магнитные ленты – стримеры и т.п.) для хранения в данной ГИС;
- преобразованы в форматы данных, используемые другими ГИС;
- распечатаны на принтере или выведены на плоттер (графопостроитель) для получения так называемой твердой копии;
- выведены на фотопленку (на негативную – для дальнейшей печати фотографий, или позитивную – для изготовления слайдов).

6 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ

6.1 Общие сведения

Строительство любого сооружения выполняется после составления проекта, основанного на инженерных расчетах и требующего знания вопросов технического и экономического характера.

При проектировании объекта необходимо иметь данные о местных условиях строительства и эксплуатации будущего сооружения. Эти данные получают по результатам выполнения различных инженерных изысканий: технико-экономических, геодезических, геологических, гидрологических, почвенных и др.

При инженерно-геодезических изысканиях производится топографическая съемка той территории, на которой будет строиться

сооружение, а также выполняются другие работы, например, трассирование, гидрометрические работы, необходимые для проектирования мостов, привязка геологических выработок и точек геофизической разведки. Таким образом, **топографо-геодезические изыскания служат основой для проектирования инженерных сооружений.**

Важнейшим документом проекта является генеральный план, который представляет собой топографический план местности с размещенными на нем проектируемыми сооружениями и коммуникациями.

При проектировании крупных сооружений обычно выделяют две стадии. На *первой* стадии составляют проектное задание и технический проект, определяющий экономическую целесообразность и техническую возможность строительства, а также его сметную стоимость. Соответствующие этой стадии проектирования геодезические изыскания сводятся к изучению района строительства по топографическим картам, планам и профилям.

На *второй* стадии проектирования составляется рабочий проект, при котором разрабатывается документация, содержащая детали элементов сооружения и методику выполнения геодезических работ на строительной площадке. На этой стадии геодезические изыскания характеризуются большей точностью и детальностью выполнения работ и являются начальным этапом геодезического обслуживания строительства.

Одновременно с проектированием сооружения выполняется геодезическая подготовка проекта, необходимая для точного размещения осей зданий на строительной площадке. Для этого вычисляют координаты пересечения главных и основных осей сооружения в принятой системе координат и определяют углы и расстояния, необходимые для определения положения сооружения относительно существующих строений. Затем геодезическими методами проект переносится в натуру, то есть выполняется так называемая разбивка сооружения. В процессе строительства геодезическое обслуживание выполняют в целях сохранения проектных размеров сооружения и его планового и высотного положения на местности.

После завершения строительства выполняется исполнительная съемка, по результатам которой составляются исполнительные чертежи, на которых указываются отклонения размеров и элементов сооружения от проектных данных. Во время эксплуатации сооружения также выполняются разнообразные геодезические работы, связанные с выявлением деформаций сооружения, а также с разработкой мероприятий по усилению и реконструкции объекта.

Таким образом, *все этапы изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений сопровождаются различными по своему составу и точности геодезическими работами*, что позволяет повысить

качество возводимого объекта строительства и выполнить его геодезическое обслуживание.

6.2 Инженерно-геодезические изыскания для линейных сооружений

Линейными называют такие сооружения, которые имеют большую протяженность при сравнительно малой ширине. К таким сооружениям относят железные и автомобильные дороги, линии электропередач, связи, водопровода, канализации, теплотрассы, газопроводы и другие виды трубопроводов, каналы и плотины.

Обычно осевую линию линейного сооружения называют *трассой*, а выбор ее направления и положения на карте или на местности – *трассированием*. Трассирование является одним из важнейших элементов проектирования сооружения. От качества трассирования будут в значительной степени зависеть стоимость и эксплуатационные качества сооружения.

Трассирование по карте называют камеральным, а трассирование на местности – полевым.

Основными элементами трассы являются ее план и профиль. *Планом трассы* называют ее проекцию на горизонтальную плоскость, а *продольным профилем* называют уменьшенное изображение вертикального разреза по проектируемой линии сооружения. План трассы состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой горизонтальными кривыми различных радиусов. Для трассы линий электропередач, связи, канализации и водопровода кривые не проектируют. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять основным техническим условиям на ее проектирование. В частности, трасса для железных и автомобильных дорог должна обеспечивать плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают *максимально допустимые уклоны и минимально возможные радиусы кривых*. На самотечных каналах и трубопроводах необходимо соблюдать *проектные уклоны*. Чтобы обеспечить допустимый уклон, приходится отступать от прямолинейности трассы, что приводит к увеличению ее длины. На трассах магистральных железных дорог I и II категорий допустимый (руководящий) уклон не должен быть более 0,012 (12 ‰), а на железных дорогах местного значения – 0,020 (20 ‰). На автомобильных дорогах допустимые уклоны могут быть от 0,040 до 0,090.

Минимально допустимые радиусы круговых кривых на железных и автомобильных дорогах должны быть от 60 до 400 м в зависимости от категории дороги, а радиусы вертикальных кривых колеблются в более

широком диапазоне – от 200 до 10000 м в зависимости от направления кривой (вогнутая или выпуклая) и вида сооружения.

В зависимости от стадии проектирования **изыскания линейных сооружений** подразделяются на рекогносцировочные, предварительные и окончательные.

При рекогносцировочных и предварительных изысканиях на картах намечают и анализируют приемлемые направления трассы, по каждому из которых составляют продольный профиль и схематические планы маршрутов. Геодезические работы при этих изысканиях состоят в съемке полосы местности вдоль всех конкурирующих вариантов трассы, съемке районов мостовых переходов, привязке трассы к пунктам опорной геодезической сети.

Путем технико-экономического сравнения полученных материалов выбирают наиболее выгодный вариант трассы и выполняют подготовку документов для разработки технического проекта этого варианта трассы и сооружений на ней.

Окончательные изыскания производят по наивыгоднейшему варианту трассы. Объем и точность получаемых при окончательных изысканиях геодезических материалов должны полностью обеспечивать проектирование линейного сооружения со всеми дополнительными инженерными объектами на нем.

6.3 Проложение трассы на местности. Измерение углов поворота и линии трассы

Трассой дороги называют ее продольную осевую линию. В процессе изысканий и проектирования дороги ее трасса предварительно наносится на плане или карте. Вынесение положения трассы с карты на местность называют **разбивкой трассы** (рисунок 6.1). При разбивке трассы выполняют следующие *геодезические работы*:

- закрепление вершин углов поворота трассы;
- вешение прямолинейных участков трассы между вершинами углов поворотов;
- измерение длин линий и углов поворота трассы;
- разбивка круговых и переходных кривых;
- разбивка пикетажа, плюсовых точек и точек поперечников;
- съемка полосы местности вдоль трассы;
- нивелирование трассы;
- привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети;
- гидрометрические работы для изысканий мостовых переходов.

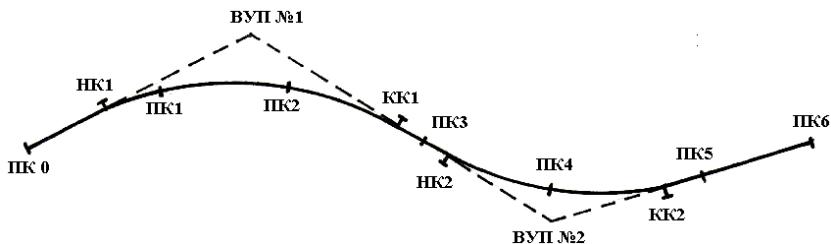


Рисунок 6.1 – Схематический чертеж трассы дороги

Направление трассы на местности выбирают или назначают по привязкам к местным предметам, магнитному азимуту линии, измеренному на карте или по привязкам к пунктам геодезической опорной сети.

Выбранные на местности вершины углов поворота трассы закрепляют деревянными столбами (рисунок 6.2). На кривых закрепляются столбами начало, середина, конец кривой и точки сопряжения круговой и переходной кривой.

Линии трассы измеряют рулетками или дальномерами в прямом и обратном направлениях с предельной относительной погрешностью 1:1000–1:2000. На участках трассы с наклоном более 2° в непосредственно измеренные длины вводят поправки за наклон со знаком плюс.

На вершинах поворотов трассы теодолитом способом приемов измеряют углы. По измеренным правым по ходу углам (β) (рисунок 6.3), вычисляют углы поворота трассы (φ) по формулам

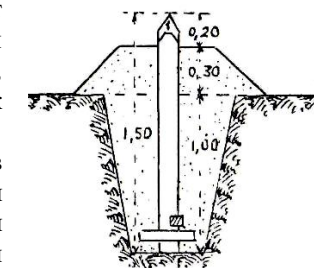


Рисунок 6.2 – Закрепление вершин углов поворота

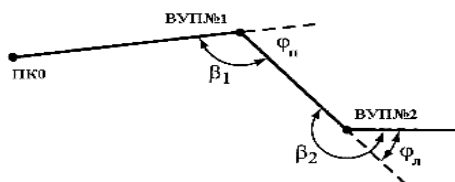


Рисунок 6.3 – Определение углов поворота по трассе

$$\varphi_n = 180^\circ - \beta_1; \quad (6.1)$$

$$\varphi_l = \beta_2 - 180^\circ. \quad (6.2)$$

Углом поворота трассы (φ) называется угол между продолжением предыдущего и последующим направлением трассы. При этом, если значение измеренного угла β меньше 180° , то угол поворота трассы будет правый, а если больше 180° , – то левый (см. рисунок 6.3).

Одновременно с измерением углов по буссоли определяют магнитные азимуты предыдущего и последующего направлений трассы для контроля измеренного угла между ними.

6.4 Разбивка пикетажа, плюсовых точек и поперечников.

Съемка дорожной полосы. Пикетажный журнал

Перед измерением длин линий трассы проводят **вешение прямолинейных участков трассы** между вершинами углов поворота.

Вешение выполняют теодолитом способом “на себя, с установкой створных вех через каждые 200–250 м в зависимости от рельефа местности.

Одновременно с измерением длин линий в прямом направлении через каждые 100 м по оси трассы закрепляют **пикеты**. Пикеты обозначают двумя колышками, один из которых забивают вровень с землей и называют *т о ч к о й*, а второй длиной около 40 см забивают в землю наполовину его длины и называют *с т о р о ж к о м*. Сторожок забивают на расстоянии примерно в 20 см от точки по направлению хода. На точку ставится рейка при нивелировании трассы, а на сторожке подписывают номер пикета. Сторожок забивают для того, чтобы было возможно отыскать пикет.

Кроме пикетов по оси трассы обозначают еще характерные точки, а именно: перегибы поверхности земли, урезы воды, пересечения трассы линиями связи, ЛЭП, с другими дорогами, начало и конец криволинейных участков и т. д. В этих точках, называемых *плюсовыми (промежуточными)*, на сторожках пишут номер предыдущего пикета и расстояние от него до плюсовой точки. Например, точка ПК 1+35 (рисунок 6.4).

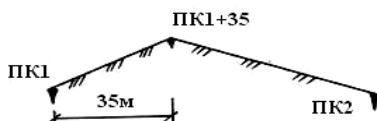


Рисунок 6.4 – Плюсовая точка

При разбивке пикетажа на наклонных участках местности землемерной ленте нужно придавать горизонтальное положение. Одновременно с разбивкой пикетажа на косогорных участках разбивают **поперечники** длиной 20–50 м в обе стороны от оси трассы. Поперечники разбивают под прямым углом к оси трассы с помощью теодолита или экера в местах, где поперечные уклоны круче 1:10. Точки на поперечниках закрепляют так же, как и пикеты, а на сторожках подписывают расстояния от оси трассы с пометкой «право» или «лево» относительно расположения точки от оси трассы.

Съемку трассы местности при разбивке пикетажа производят способом прямоугольных координат (перпендикуляров) в обе стороны от оси трассы на 20–50 м. Снимают контуры угодий, пересекающие трассу дороги, линии связи, электропередач и т. п.

При разбивке пикетажа обычно на миллиметровой бумаге в масштабе 1:2000 ведется **пикетажный журнал** (рисунок 6.5).

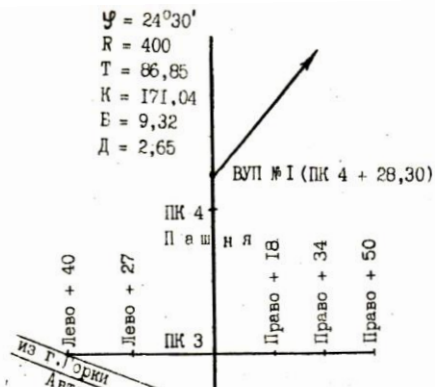


Рисунок 6.5 – Пример оформления пикетажного журнала

В пикетажном журнале наносят выпрямленную линию оси трассы с пикетными и плюсовыми точками, вдоль которой показывают поперечники, абрис съемки ситуации, привязку к реперам, элементы кривых и другие данные.

Разбивка пикетажа через 100 м затрудняет использование дальномеров, поэтому в некоторых случаях применяют **безпикетажный способ полевого трассирования**, при котором на местности разбивают не каждый стометровый пикет, а только точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных элементах ситуации. На планах и продольных профилях пикеты наносят камерально, их отметки определяют интерполированием между ближайшими плюсовыми точками. Если пикеты необходимы для строительства, то их разбивают на местности при восстановлении трассы.

6.5 Круговые кривые, их элементы и главные точки.

Разбивка главных точек круговых кривых

В плане ось трассы представляет собой сочетание прямых и кривых участков. В каждой вершине поворота трассы две смежные линии ее сопрягаются кривой. Кривые могут иметь форму круговой или суммарной кривой. Суммарная кривая состоит из двух переходных кривых и круговой кривой.

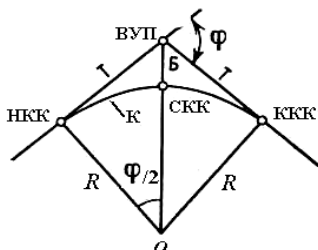


Рисунок 6.6 – Основные элементы круговой кривой

Рассмотрим круговую кривую (рисунок 6.6). **Круговая кривая** – это дуга окружности, вписанная в угол, образованный двумя смежными линиями трассы. Круговая кривая имеет три главные точки и шесть элементов.

Главными точками круговой кривой являются *начало* круговой кривой (НKK), *конец* круговой кривой (КKK) и *середина* круговой кривой (СКК).

На плане и на местности эти точки могут быть получены, если известны следующие элементы кривой:

- 1 – угол поворота трассы (φ);
- 2 – радиус круговой кривой (R);
- 3 – расстояние от вершины угла поворота (ВУП) до начала или конца кривой, которое называется тангенс (T);
- 4 – длина кривой, расстояние от ее начала до ее конца (K);
- 5 – расстояние от вершины угла поворота до середины кривой, которое называется биссектриса кривой (B);
- 6 – домер, показывающий, на сколько путь от начала до конца кривой по касательной больше, чем по кривой (D).

Угол поворота трассы (φ) измеряют при трассировании, а величину радиуса кривой (R) выбирают в соответствии с техническими условиями.

Остальные элементы круговой кривой могут быть определены из прямоугольного треугольника (O – НKK – ВУП) на рисунке 6.6 по следующим формулам:

$$\begin{aligned} T &= R \operatorname{tg} \varphi/2; \\ K &= \pi R \varphi^0 / 180^0; \\ B &= (R / \cos \varphi/2) - R; \\ D &= 2T - K. \end{aligned} \tag{6.3}$$

По вышеприведенным формулам составлены таблицы, в которых по известным φ и R находят элементы T , K , B и D (например, Власов Д.И., Логинов В.Н. Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах [3].

Так, например для $\varphi = 24^030'$; $R = 400$ м; $T = 86,85$ м; $K = 171,04$ м; $B = 9,32$ м; $D = 2,65$ м.

На местности начало и конец кривой получают, откладывая величины тангенса от вершины угла поворота (ВУП) по линиям трассы, а середину кривой (СКК) – отложением величины B по биссектрисе угла ($\beta/2$):

$$\beta/2 = (180^\circ - \varphi^\circ)/2.$$

Этот угол откладывают при помощи теодолита. Точка O на местности не определяется и не обозначается (рисунок 6.6). Для облегчения разбивки длинных кривых их целесообразно разделить на несколько равных частей, называемых кратными кривыми.

Чтобы определить элементы круговых кривых для больших углов поворота при любой величине радиуса, например $R = 600$ м, можно определить из таблицы 1 [3] элементы для радиуса $R = 100$ м и найденные

значения умножить на отношение радиусов $600:100 = 6$, так как величины Т, К, Б, Д пропорциональны радиусу кривой. Это видно из формул (1.3).

6.6 Переходные и суммарные кривые

Для устранения внезапного изменения центробежной силы, действующей на поезд или автомобиль при переходе его с прямой части пути на круговую кривую или наоборот, применяются **переходные кривые**, радиус которых изменяется от бесконечности до величины радиуса круговой кривой. Переходные кривые вставляют также между смежными круговыми кривыми разных радиусов. В качестве переходной кривой на дорогах применяются клотоиды (рисунок 6.7).

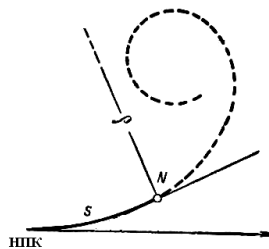


Рисунок 6.7 – Клотоида

Уравнение клотоиды (радиальной спирали) имеет вид

$$\rho = C / l,$$

где ρ – переменный радиус кривизны;

C – постоянная величина, называемая параметром переходной кривой;

l – длина переходной кривой от ее начала до любой заданной точки.

Величина переходных кривых на дорогах принимается стандартной длины, кратной 20 м, в зависимости от радиуса кривой и категории дороги. Для дорог I категории (с большими скоростями движения) длина переходных кривых большая.

На рисунке 6.8 показана суммарная кривая, состоящая из круговой кривой радиуса R и двух переходных кривых.

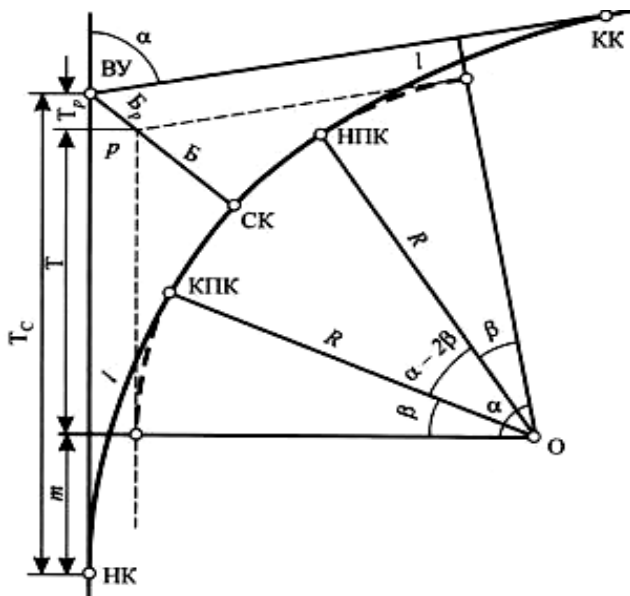


Рисунок 6.8 – Основные элементы суммарной кривой

Элементами переходных кривых являются:

l – длина переходной кривой;

p – сдвигка круговой кривой;

m – добавочный тангенс.

Величины p и m определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} p &= l^2/24R; \\ m &= l/2, \end{aligned} \right\} \quad (6.4)$$

или выбирают из таблиц по заданному радиусу (R) и длине переходной кривой (l) в нижней части страницы таблицы 1 [3].

Элементы суммарной кривой определяют по формулам (6.5) (см рисунок 6.8):

$$\left. \begin{aligned} T_c &= T + m = (R + p) \operatorname{tg} \alpha/2 + m; \\ K_c &= K + l = \pi R \alpha/180^\circ + l; \\ B_c &= (R + p) / \cos \alpha/2 - R; \\ D_c &= 2T_c - K_c. \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

Радиусы круговой кривой и длины переходных кривых устанавливаются техническими условиями. Угол α измеряется теодолитом. Эти величины являются исходными. Для всех остальных элементов суммарных кривых составлены таблицы, при помощи которых производят их разбивку на местности. Порядок разбивки аналогичен разбивке круговых кривых.

6.7 Расчет пикетажных значений главных точек круговой кривой. Вынос пикетов с тангенса на кривую

Для разбивки трассы необходимо знать не только пикетажное значение вершины угла поворота, но и пикетажное положение главных точек кривой: начала кривой (НКК), середины кривой (СКК) и конца кривой (ККК). Для этого используют следующие соотношения:

$$\text{НКК} = \text{ВУП} - T;$$

$$\text{СКК} = \text{НКК} + K/2;$$

$$\text{ККК} = \text{НКК} + K;$$

Контроль:

$$\text{ККК} = \text{НКК} + T - D;$$

$$\text{СКК} = \text{ВУП} - D/2.$$

Расхождение между двумя вычисленными значениями СКК и ККК допускается ± 1 см. Все вычисления по определению положения главных точек кривой заносят в пикетажный журнал.

Пример. Определить пикетажное значение главных точек кривой, если вершина угла поворота (ВУП) находится в точке ПК4 + 28,30, а элементы кривой равны: $\alpha = 24^\circ 30'$; $R = 400$ м; $T = 86,85$ м; $K = 171,04$ м; $B = 9,32$ м; $D = 2,65$ м.

| <u>Вычисление пикетажа</u> | <u>Контроль</u> |
|----------------------------|----------------------|
| ВУП.....ПК4 + 28,30 | ВУП.....ПК4 + 28,30 |
| - Т..... 86,85 | + Т..... 86,65 |
| ----- | ----- |
| НКК.....ПК3 + 41,45 | Σ.....ПК5 + 15,15 |
| + К.....ПК1 + 71,04 | - Д..... 2,65 |
| ----- | ----- |
| ККК.....ПК5 + 12,49 | ККК.....ПК5 + 12,50 |
| ----- | ----- |
| НКК.....ПК3 + 41,45 | ВУП.....ПК4 + 28,30 |
| + К/2..... 85,42 | - Д/2..... 1,32 |
| ----- | ----- |
| СКК.....ПК4 + 26,97 | СКК.....ПК4 + 26,98. |

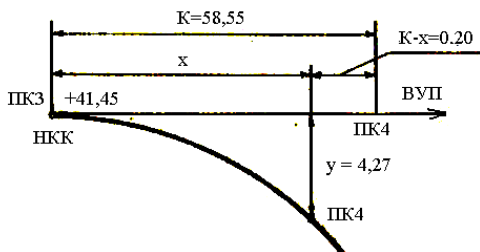
На вершинах поворота трассы все пикетные и плюсовые точки, лежащие на тангенсах, выносят на кривую (рисунок 6.9). Для этого используют способ прямоугольных координат, сущность которого рассмотрим на примере.

Пример. Вынести на круговую кривую с $R = 400$ м пикет 4, лежащий на тангенсе.

Для этого вычисляют расстояние K от НКК до ПК4:

$$K = \text{ПК4} - \text{ПК3} + 41,45 = 400 \text{ м} - 341,45 \text{ м} = 58,55 \text{ м}.$$

По таблицам 5 [3], интерполируя, находят значение $(K - x)$ и ординаты (y) .



При $K = 58,55$ м получим

$$(K - x) = 0,20 \text{ м}; \quad y = 4,27 \text{ м}.$$

От пикета 4 отмеряют рулеткой по тангенсу в сторону НКК расстояние $(K - x) = 0,20$ м и из полученной точки по перпендикуляру к тангенсу откладывают рулеткой ординату $y = 4,27$ м и забивают колышек, который и будет определять положение ПК4 на кривой (см

Рисунок 6.9 – Вынос пикета с тангенса на кривую

рисунок 6.9).

Аналогично выносят остальные пикеты и плюсовые точки, лежащие на тангенсах.

6.8 Привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети

Привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети производится для определения общегосударственных координат точек и дирекционных углов линий трассы. Расстояние по трассе между привязанными точками определяется техническими условиями и может быть от 1 до 20 км. Результаты привязки дают возможность определить плановое положение трассы на поверхности Земли и иметь данные для надежного контроля полевых измерений. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные способы привязки.

1 Привязка трассы к близлежащим пунктам опорной сети. Пусть на местности имеется два пункта опорной геодезической сети A и B (рисунок 6.10). В этом случае для привязки точки 1 трассы от пункта A опорной сети необходимо измерить примычный угол β_0 и расстояние d_0 .

По известному дирекционному углу α_{AB} вычисляют дирекционный угол линии $A1$:

$$\alpha_{A1} = \alpha_{AB} + \beta_0.$$

Затем по формулам прямой геодезической задачи получают координаты точки 1 трассы:

$$X_1 = X_A + d_0 \cos \alpha_{A1}; \quad (6.6)$$

$$Y_1 = Y_A + d_0 \sin \alpha_{A1}.$$

Если точка 1 трассы не видна из пункта A или находится на большом расстоянии, то для привязки трассы прокладывают от пункта A до точки 1 теодолитный ход, состоящий из нескольких линий, в котором измеряют углы хода и длины сторон. Для каждой стороны теодолитного хода вычисляют приращения координат по формулам

$$\Delta X = d \cos \alpha; \quad (6.7)$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha.$$

Прибавив к координатам точки A суммы приращений координат по привязочному ходу, получают координаты точки 1 трассы.

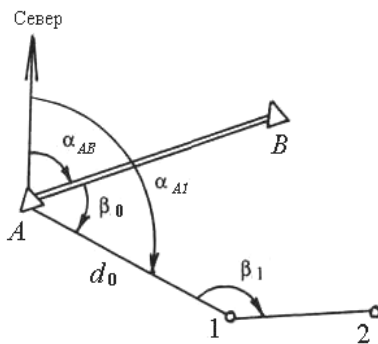


Рисунок 6.10 – Привязка трассы

2 Привязка трассы к двум опорным пунктам (способ прямой угловой засечки). Пусть на точках A и B опорной геодезической сети измерены углы β_1 и β_2 (рисунок 6.11), при этом координаты пунктов A и B известны. Тогда координаты точки 1 трассы можно вычислить из прямой угловой засечки, через котангенсы измеренных углов β_1 и β_2 по следующим формулам:

$$X_1 = X_A + \frac{(X_B - X_A)\text{ctg}\beta_1 - (Y_B - Y_A)}{\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2};$$

$$Y_1 = Y_A + \frac{(Y_B - Y_A)\text{ctg}\beta_1 + (X_B - X_A)}{\text{ctg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2}.$$

(6.8)

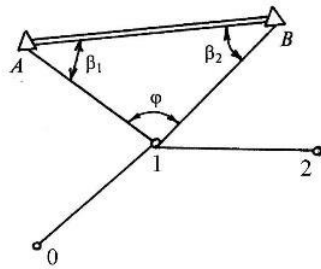


Рисунок 6.11 – Способ прямой угловой засечки

Определение координат точки 1 будет более надежным, если угол засечки φ будет не менее 30° и не более 150° .

3 Привязка трассы к трем опорным точкам геодезической сети (способ обратной угловой засечки). Если на местности из точки 1 трассы видно не менее трех опорных пунктов геодезической сети A , B и C (рисунок 6.12), то на точке 1 трассы достаточно измерить углы β_1 , β_2 и β_3 , чтобы вычислить координаты точки 1 и дирекционный угол α_{12} линии трассы. Данный способ привязки называется обратной угловой засечкой.

Согласно рисунку 6.12 можно написать формулы для вычисления дирекционных углов:

$$\alpha_{1B} = \alpha_{1A} + \beta_1;$$

$$\alpha_{1C} = \alpha_{1A} + \beta_2; \tag{6.9}$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{1A} + \beta_3.$$

Дирекционный угол α_{1A} можно определить из равенства

$$\text{tg}\alpha_{1A} = \frac{(Y_A - Y_B)\text{ctg}\beta_1 + (Y_C - Y_A)\text{ctg}\beta_2 + (X_B - X_C)}{(X_A - X_B)\text{ctg}\beta_1 + (X_C - X_A)\text{ctg}\beta_2 + (Y_C - Y_B)}.$$

(6.10)

По тангенсу находим величину румба, а название его – по знакам приращений координат. Дирекционные углы остальных линий вычисляем по формулам (6.6). Координату X точки 1 трассы получим по формуле

$$X_1 = \frac{X_A \operatorname{tg} \alpha_{1A} - X_B \operatorname{tg} \alpha_{1B} + (Y_B - Y_A)}{\operatorname{tg} \alpha_{1A} - \operatorname{tg} \alpha_{1B}}. \quad (6.11)$$

Координату Y точки 1 трассы можно получить с контролем по формулам

$$Y_1 = Y_A + (X_1 - X_A) \operatorname{tg} \alpha_{1A}; \quad (6.12)$$

$$Y_1 = Y_C + (X_1 - X_C) \operatorname{tg} \alpha_{1C}. \quad (6.13)$$

Для полного контроля полевых и вычислительных работ на местности можно измерить угол на четвертую точку опорной геодезической сети. Привязка будет более надежной, если углы β_1 и β_2 не будут меньше 30° и более 150° . При отсутствии около трассы пунктов опорной геодезической сети дирекционные углы линий трассы можно определять по измеренным с помощью теодолита и ориентир-буссоли магнитным азимутам сторон трассы, используя при этом следующую формулу связи:

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma,$$

где α – дирекционный угол;

A_m – магнитный азимут;

δ – склонение магнитной стрелки;

γ – сближение меридианов.

Сближение меридианов и магнитное склонение обычно приводятся на полях листа карты для данной местности или определяются на ближайших метеостанциях.

6.9 Нивелирование трассы и поперечников.

Журнал нивелирования

Нивелирование трассы производят вслед за разбивкой пикетажа, обычно в два нивелира по двухсторонним рейкам. *Первым* прибором нивелируют все точки по трассе: пикеты, плюсовые точки, реперы, главные точки кривой. *Вторым* инструментом нивелируют для контроля только реперы, связующие пикеты, а также поперечники и геологические выработки на трассе. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют, как *связующие точки*, обоими нивелирами. Связующими

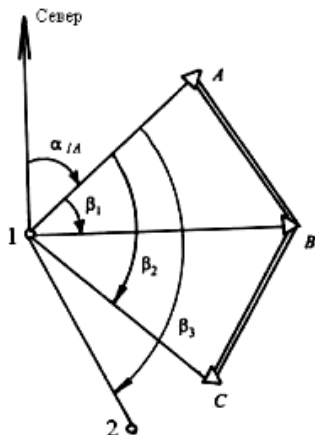


Рисунок 6.12 – Способ обратной угловой засечки

называют точки, общие для двух стоянок нивелира. Все остальные точки на трассе называют *промежуточными*.

Нивелирование трассы производят путем проложения вдоль трассы нивелирного хода состоящего из нескольких станций (рисунок 6.13).

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз». При этом в зависимости от увеличения зрительной трубы связующие точки можно брать через 100 или через 200 м. В первом случае ими будут служить все пикеты, а во втором – 50 % их (через пикет). Превышения между связующими и пикетными точками определяют по черной и красной сторонам реек, а при работе с односторонними рейками – при двух горизонтах нивелира.

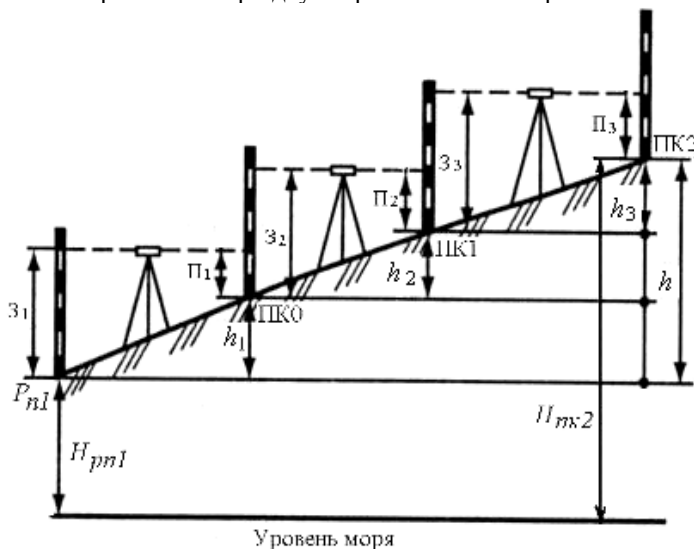


Рисунок 6.13 – Порядок нивелирования по трассе

Условия местности (крутые склоны и др.) часто заставляют значительно уменьшать расстояния между связующими точками, что является нежелательным, так как увеличение числа станций в ходе ведет к увеличению объема работы и к большему накоплению погрешностей в суммарном превышении.

Рассмотрим сначала нивелирование трассы методом из середины при расстояниях в 50 м от нивелира до связующих точек (см. рисунок 6.13).

$$h = h_1 + h_2 + h_3 = \Sigma h = \Sigma(3 - \Pi) = \Sigma 3 - \Sigma \Pi; H_{ПК2} = H_{пн1} + \Sigma h.$$

Если отсутствует второй нивелир, то трассу нивелируют по разбитому пикетажу два раза: в прямом и обратном направлениях. Высотная привязка

трассы к реперам производится нивелирными ходами от реперов до точек трассы. В качестве связующих точек, если позволяют условия местности, надо выбирать соседние пикеты и нивелировать с одной станции все промежуточные точки между ними.

При нивелировании трассы рекомендуется следующий порядок работы на станции:

1 На связующие точки реечки ставят рейки на верх колышка, забитого вровень с землей; сообразуясь с рельефом местности, нивелир устанавливают между связующими точками так, чтобы при горизонтальном положении визирного луча можно было взять отсчеты по задней и передней рейкам, при этом надо стремиться к тому, чтобы расстояния от нивелира до реек были примерно равны.

2 После приведения вертикальной оси нивелира в отвесное положение наводят трубу на черную сторону задней рейки, берут по среднему горизонтальному штриху сетки нитей отсчет и записывают его в графу 3 журнала нивелирования (таблица 6.1).

Например, отсчет на заднюю рейку по черной стороне на первой станции $Z_ч = 343$. Затем наводят трубу нивелира на черную сторону передней рейки, берут отсчет ($P_ч = 1628$) и записывают его в графу 4 журнала. Перед каждым отсчетом для нивелиров Н-3, Н-10Л элевационным винтом приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт. Далее берут отсчеты сначала по красной стороне передней рейки ($P_к = 6415$), а затем по красной стороне задней рейки ($Z_к = 5132$) и дважды вычисляют превышение как разность отсчетов $Z - P$ по черным и красным сторонам реек. Например:

$$h_ч = Z_ч - P_ч = 343 - 1285 = -1285 \text{ мм}; h_к = Z_к - P_к = 5132 - 6415 = -1283 \text{ мм}.$$

Расхождение между двумя значениями превышений допускается не более 5 мм. Если оно допустимо, то затем рейку последовательно устанавливают на плюсовых точках, где берут отсчеты только по черной стороне рейки и записывают в графу 5 журнала.

Таблица 6.1 – Журнал нивелирования трассы

| Номер станции | Наблюдаемые точки | Отсчеты по рейке | | | Превышения | | Средние превышения | | Горизонт нивелира | Абсолютные (условные) отметки | |
|---------------|-------------------|------------------|----------|---------------|------------|---|--------------------|---|-------------------|-------------------------------|--------|
| | | задней | передней | промежуточная | | | | | | | + |
| | | | | | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| 1 | Рп №1 | 343 | | | | | | | | | 59,667 |
| | ПК 0 | 5132 | 1628 | | 1285 | | +2 | | | | |
| | | | 6415 | | 1283 | | 1284 | | | | 58,385 |

| | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|------|--|-----|--------|--------|
| 2 | ПК 0 | 1134 | | | | | | 58,385 |
| | +20 | 5921 | | 944 | | 900 | | 58,575 |
| | +60 | | | 712 | | 898 | +2 | 58,807 |
| | ПК 1 | | 2034 | | | | 59,519 | 57,488 |
| | | | 6819 | | | | | |
| 3 | ПК 1 | 482 | | | | | | 57,488 |
| | +30 | 5269 | | 815 | | 493 | | 57,155 |
| | +35 | | | 2248 | | 493 | +2 | 55,722 |
| | +80 | | | 1110 | | | 493 | 56,860 |
| | ПК 2 | | 975 | | | | | 56,997 |
| | | | 5762 | | | | | |
| | Σ | 18231 | 23633 | | | | -2676 | |
| Контроль: $(\Sigma Z - \Sigma П)/2 = (18281 - 23633)/2 = -2676$; $\Sigma h_{cp} = -2676$. | | | | | | | | |

3 В случае, если разность превышений будет более 5 мм, то производят повторное нивелирование на данной станции.

На местности с большими уклонами земной поверхности часто приходится в качестве связующих точек использовать плюсовые точки или специально устанавливаемые *иксовые точки*. Это может быть в том случае, если с одной станции невозможно пронивелировать две соседние точки пикетажа (рисунок 6.14, а).

Тогда между точками пикетажа выбирается одна (см. рисунок 6.14, б) или больше иксовых точек так, чтобы при помощи их можно было бы произвести нивелирование. Иксовые точки служат лишь для передачи отметок, поэтому расстояния от них до пикетов не измеряются и на профиль эти точки не наносятся.

На криволинейных участках трассы нивелируют как промежуточные точки начало, середину и конец кривой, а также все пикеты и плюсовые точки, вынесенные с тангенса на кривую.

Нивелирование трассы через пикет возможно только при равнинной местности. Расстояния от нивелира до связующих точек при этом будут около 100 м. Нивелир в этом случае устанавливают в стороне от оси трассы не менее чем на 10 м. Пикеты через один служат связующими точками, а все остальные нивелируют как промежуточные точки.

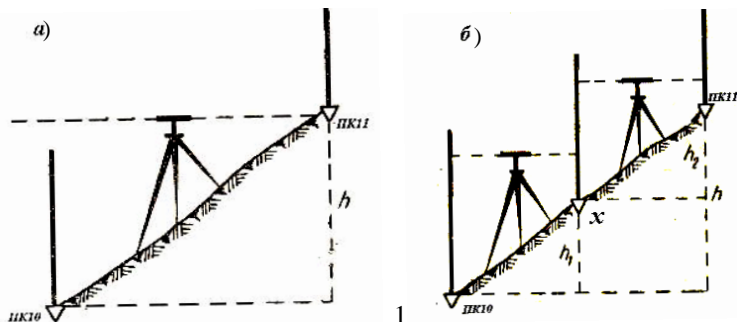


Рисунок 6.14 – Применение иксовой точки

Нивелирование поперечников. Поперечники – это прямые линии, перпендикулярные к направлению трассы. Разбивают их обычно с помощью экера или теодолита на 20–50 м влево и вправо от оси трассы. Если позволяют условия местности, то нивелирование поперечников производят с ближайших к ним станций продольного нивелирования трассы. В противном случае поперечники нивелируют с отдельных станций, причем отсчеты по рейке берут на всех точках поперечника, только по черной стороне рейки. Отсчеты записывают на отдельных страницах в конце журнала нивелирования. Образец записи показан в таблице 6.2.

Станции нивелирования на поперечниках выбирают так, чтобы были видны отсчеты на все характерные точки поперечника (правые и левые от его оси), а также на одну или две точки, лежащие на трассе (обычно на задний или передний пикеты или плюсовые точки (рисунок 6.15, а).

Таблица 6.2 – Журнал нивелирования поперечников

| Номер станции | Наблюдаемые точки | Отсчеты по рейке | | | Превышение | | Средние превышения | | Горизонт нивелира | Абсолютные (условные) высоты |
|---------------|-------------------|------------------|----------|---------------|------------|---|--------------------|---|-------------------|------------------------------|
| | | задней | передней | промежуточной | + | – | + | – | | |
| | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| | ПК 3 | 1181 | | | | | | | 57,081 | 55,900 |
| | Пр + 18 | | | 2171 | | | | | | 54,910 |
| | Пр + 34 | | | 2730 | | | | | | 54,351 |
| | Пр + 50 | | | 2890 | | | | | | 54,191 |
| | Лево + 27 | | | 785 | | | | | | 56,296 |
| | Лево + 50 | | | 220 | | | | | | 56,861 |

На крутых косогорах нивелирование поперечника с одной станции выполнить невозможно, поэтому поперечник нивелируют с нескольких станций. В этих случаях высоты точек на последующие станции нивелирования передают через связующие точки, лежащие на трассе (см. рисунок 6.15, б).

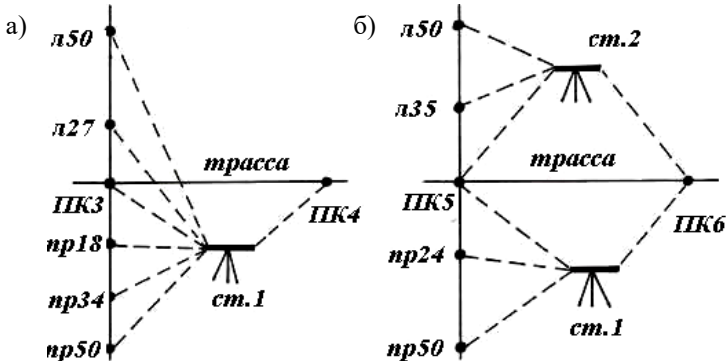


Рисунок 6.15 – Схема нивелирования поперечников

Вычисление высот точек на поперечниках выполняют через горизонт нивелира. По высотам точек на поперечниках составляют поперечные профили трассы.

6.10 Высотная привязка трассы к реперам государственной нивелирной сети. Нивелирование через реки и овраги

В целях передачи абсолютных отметок на точки трассы, получения дополнительного контроля и повышения точности нивелирования трассы через 5–10 км выполняют привязку к близлежащим реперам и маркам государственного нивелирования.

Привязку трассы производят путем проложения нивелирного хода, состоящего из одной или нескольких станций от близлежащего репера до точки на трассе. Одна рейка при этом устанавливается на репер, а вторая – на колышек, костыль или башмак, забитый в землю на расстоянии 100–200 м от репера в направлении трассы. Нивелирование на станции выполняют методом из середины, так же, как и при нивелировании трассы. При отвязке от ственных марок имеются некоторые особенности.

Стенные марки обычно расположены выше горизонта прибора. Поэтому при привязке к ним желательно иметь специальную подвесную рейку. Марка и подвесная рейка имеют отверстия одинакового диаметра. В отверстие марки вставляют стальной штифт, и на него навешивают подвесную рейку. Нуль рейки совмещен с центром ее отверстия. Согласно рисунку 6.16 превышение точки *B* над маркой *A* в этом случае будет

$$h = -3 - \Pi = -(3 + \Pi),$$

где *З* и Π – отсчеты по рейкам.

При отсутствии подвесной рейки проекцию среднего горизонтального штриха сетки нитей зрительной трубы нивелира отмечают карандашом на стене под маркой, и расстояние от центра марки до проекции нити измеряют рулеткой. Схему привязки к марке или реперу зарисовывают в журнале нивелирования

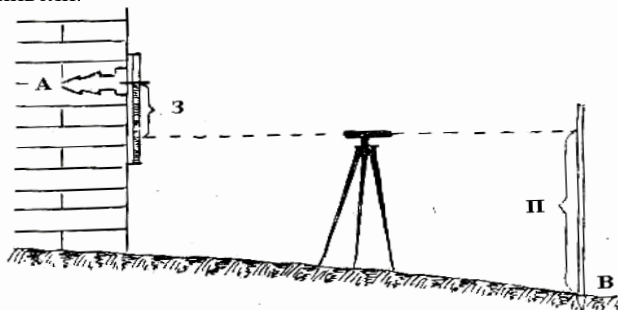


Рисунок 6.16 – Привязка к стенной марке

Нивелирование через реки и овраги. Нивелирование через реки шириной до 100 м производят по общим правилам. При ширине реки от 100 до 300 м на обоих берегах реки, примерно на одной высоте над горизонтом воды, забивают два колышка A и B (см. рисунок 6.17) и около них выбирают станции I_1 и I_2 так, чтобы $I_1A = I_2B \approx 10$ м и $I_1B = I_2A$.

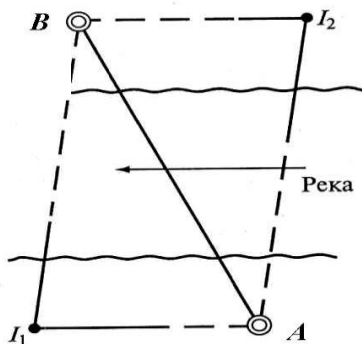


Рисунок 6.17 – Нивелирование через реку

изображений. Каждый раз отсчеты рекомендуется брать по трем горизонтальным нитям.

Если ширина реки более 300 м и взять отсчеты непосредственно по рейке из-за больших расстояний нельзя, то применяют специальные щитки, передвигаемые реечником вдоль реек по указанию наблюдателя до совмещения с проекцией нити. Отсчет по щитку-марке делает помощник наблюдателя или реечник.

Зимой нивелирование через широкие реки может быть произведено по льду. Нивелир и рейки при этом устанавливают на специально замороженные в лед колья. Нивелирование по льду нужно выполнять в возможно кратчайший срок, так как лед нельзя считать неподвижным.

На прямых участках реки разность отметок уровня воды у противоположных берегов бывает невелика (до ± 30 см), что можно использовать для приближенной передачи отметок через широкие водоемы.

Установив тщательно выверенный нивелир в точке I_1 , делают отсчеты сначала по обеим сторонам рейки на точке A , а затем по обеим сторонам рейки в точке B . После этого, не меняя фокусировки трубы, перевозят нивелир через реку и устанавливают его в точке I_2 . Делают отсчеты по рейке на точке A , а затем, изменив фокусировку трубы, – по рейке на точке B . Вычислив два раза превышение точки B над точкой A , за окончательный результат принимают среднее. Для получения наилучших результатов наблюдения следует производить в период спокойных

Широкие и глубокие овраги нивелируют в два приема: сначала определяют превышение между точками, установленными на его берегах, по правилам передачи высот через реки, а затем нивелируют овраг между точками на его берегах.

Нивелирование склонов и дна оврага можно произвести при помощи нивелира (см. рисунок 6.18). Характерной особенностью будут небольшие расстояния между связующими точками, что заставляет выбирать станции на 10–15 м стороне от трассы. Нивелирование крутых склонов оврага можно произвести также ватерпасовкой при помощи двух реек, одна

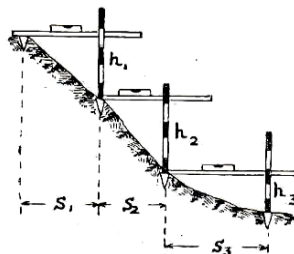


Рисунок 6.18 – Нивелирование крутого склона

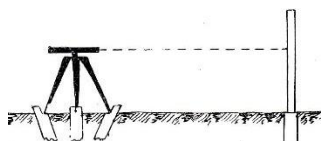


Рисунок 6.19 – Нивелирование заболоченных участков

из которых должна быть снабжена цилиндрическим уровнем, а другая – круглым. Сущность этого способа нивелирования понятна из рисунка 6.18.

При нивелировании заболоченных участков для установки нивелира и реек забиваются колья до твердого грунта

В этом случае наиболее точные результаты дает применение самоустанавливающихся нивелиров с компенсатором.

6.11 Обработка журнала нивелирования и составление профиля трассы

В журнале нивелирования (см. таблицу 6.1) для каждой станции вычисляют среднее значение превышения как среднее арифметическое из превышений, полученных по черным и красным сторонам реек. Например, для первой станции

$$h_{\text{ср}} = [-1285 + (-1283)]/2 = -1284 \text{ мм.}$$

Средние превышения записывают в графы 8 или 9 в зависимости от знака. Если среднее превышение оканчивается на 0,5 мм, то результат округляют до 1 мм к ближайшей четной цифре. Например: $h_{\text{ср}} = 1984,5 = 1984 \text{ мм}$; $h_{\text{ср}} = 2113,5 = 2114 \text{ мм}$.

На каждой странице журнала выполняют постраничный контроль, проверяя равенство:

$$(\Sigma 3 - \Sigma \Pi)/2 = \Sigma(+h)_{\text{ср}} + \Sigma(-h)_{\text{ср}} = \Sigma h_{\text{ср}}.$$

Например, в таблице 6.1

$$(\Sigma Z - \Sigma \Pi)/2 = -2676; \quad \Sigma h_{cp} = -2676.$$

За счет ошибок округлений допускаются расхождения в равенстве постраничного контроля в пределах 1–2 мм.

Если нивелирование трассы привязано к реперам, то вычисляют невязку в превышениях по формуле

$$f_h = \Sigma h_{cp} - (H_{кон} - H_{нач}),$$

где $H_{нач}$ и $H_{кон}$ – отметки начального и конечного реперов;

f_h – невязка (должна быть меньше $\pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$).

Например, если $L = 2 \text{ км}$, то $f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{2} = \pm 70 \text{ мм}$.

Невязку распределяют с противоположным знаком поровну, на средние превышения хода, округляя до 1 мм, при этом сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Поправки в превышениях записывают в журнал нивелирования (над средними превышениями). Далее по высотам (отметкам) реперов трассы и урвненным превышениям (средние превышения с учетом поправок) вычисляют высоты всех связующих точек трассы по правилу: высота последующей точки $H_{посл}$ равна высоте предыдущей $H_{пред}$ плюс урвненное уравнение h между ними:

$$H_{посл} = H_{пред} + h.$$

Высоты плюсовых (промежуточных) точек и точек на поперечниках вычисляют через горизонт нивелира. Горизонт нивелира ГН равен высоте точки плюс отсчет по черной стороне рейки на этой точке, например, на второй станции (см. таблицу 6.1) горизонт нивелира

$$\text{ГН} = H_{пк0} + 3; \quad \text{ГН} = 58,385 + 1,134 = 59,519 \text{ м}.$$

Высоты промежуточных точек +20 и +60 получены как горизонт нивелира на второй станции минус отсчет по рейке на этих точках:

$$H_{+20} = 59,519 - 0,944 = 58,575 \text{ м}; \quad H_{+60} = 59,519 - 0,712 = 58,807 \text{ м}.$$

Аналогично через горизонт нивелира вычисляют высоты точек поперечника на пикете 3 (см. таблицу 6.2).

После обработки журнала нивелирования приступают к составлению профилей трассы. Профили дорог составляют в масштабах: горизонтальном – 1: 10000, вертикальном – 1: 200. При составлении профилей следует руководствоваться установленными образцами, на которых показана принятая сетка профиля для записи необходимых для проектирования данных (рисунок 6.20).

Масштабы: горизонтальный 1:10000
вертикальный 1:200



Рисунок 6.20 – Продольный профиль трассы

Продольный профиль составляют в такой последовательности:

1 На миллиметровой бумаге вычерчивают сетку профиля. Заполняют графы «Пикеты» и «Километры». Каждый десятый пикет подписывают полным номером, а остальные – только последней цифрой 1, ..., 9.

2 Заполняют графы «Расстояния», «Отметки земли» и «Ординаты». В графах «Расстояния» и «Ординаты» проводят вертикальные линии на пикетах и плюсовых точках и в графе «Расстояния» отмечают расстояния между смежными ординатами, контролируя их сумму. В графу «Отметки земли» выписывают высоты точек из журнала нивелирования с округлением до 1 см.

3 Расписывают вертикальный масштаб от линии условного горизонта (верхняя линия сетки профиля) и по отметкам земли делают наколку профиля. Расстояние между линией профиля и линией условного горизонта должно быть не менее 6 см.

4 По данным пикетажного журнала заполняют графу «Ситуация», где у оси трассы, нанесенной в виде прямой линии, указывают ситуацию дорожной полосы.

5 В графе «План линии» показывают прямые и кривые участки трассы и их числовые характеристики. При угле поворота трассы вправо условное обозначение кривой показывают в виде дуги 5 мм вверх от осевой линии, а при левом повороте – вниз. Внутри дуг записывают основные элементы кривых: ϕ , R , T , K . Начало и конец кривой отмечают перпендикулярами от осевой линии до линии пикетов. На перпендикулярах записывают расстояния от начала и конца кривой до ближайших пикетов. Для прямолинейных участков показывают их длины и дирекционные углы или азимуты. Длины прямых участков трассы получают как разность пикетажных значений начала последующей кривой и конца предыдущей кривой и записывают над осевой линией. Дирекционные углы вычисляют по правилу: дирекционный угол последующей прямой равен дирекционному углу предыдущей плюс правый угол поворота или минус левый. Их значения записывают под прямой линией.

6 В соответствии с заданными техническими условиями при достижении минимального объема выемок и насыпей, баланса земляных работ путем последовательных проб наносят проектную (красную) линию. Проектные отметки точек перелома проектной линии определяют графически. По ним с точностью до 0,0001 вычисляют уклоны (частное от деления превышений на горизонтальные длины линий) и выписывают в соответствующую графу сетки профиля. После этого вычисляют проектные отметки всех пикетов и плюсовых точек по следующему правилу: проектная отметка последующей точки равна проектной отметке предыдущей плюс произведение уклона линии на горизонтальное расстояние между точками.

7 Вычисляют рабочие отметки как разность между проектными отметками и отметками земли. Рабочие отметки насыпей выписывают на профиле над проектной линией, а рабочие отметки выемок – под проектной линией.

8 Аналитически рассчитывают положение точек нулевых работ (точки пересечения линии земли с проектной линией):

$$X = a d / (a + b),$$

где X – расстояние от точки нулевых работ до точки с рабочей отметкой a ;

a и b – рабочие отметки ближайших пикетов или плюсовых точек, между которыми находится точка нулевых работ;

d – горизонтальное расстояние между рабочими отметками

Профиль вычерчивают и оформляют в соответствии с образцом (см. рисунок 6.20). Проектные данные на нем показывают красным цветом, точки нулевых работ и расстояния до них – синим, все остальное оформление делают черным цветом.

Поперечные профили составляют на миллиметровой бумаге в масштабах: горизонтальный – 1:1000, вертикальный – 1:100 (рисунок 6.21).

Горизонтальные расстояния до точек перегиба профиля на поперечнике откладывают вправо и влево от осевой точки трассы, на которой производилась разбивка поперечника. Высоты точек поперечника откладывают по вертикали от принятого условного горизонта в соответствующем масштабе.

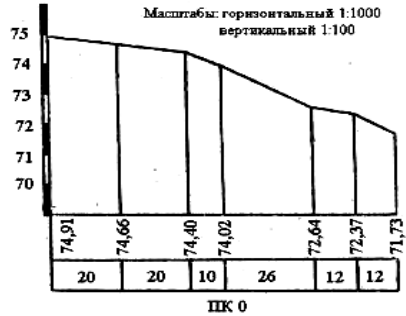


Рисунок 6.21 – Поперечный профиль

6.12 Составление плана трассы. Ведомость углов поворота, прямых и кривых

План трассы – это проекция трассы на горизонтальную плоскость. Составляют план трассы в масштабах 1:5000 или 1:10000 по координатам вершин углов поворота, а при небольшой длине трассы – по дирекционным углам (румбам) и длинам линий. Трассу наносят красным цветом. На плане трассы указывают положение пикетных и километровых точек, главных точек круговых и переходных кривых. В условных знаках наносят ситуацию полосы местности. Пример оформления плана трассы показан на рисунке 6.22.

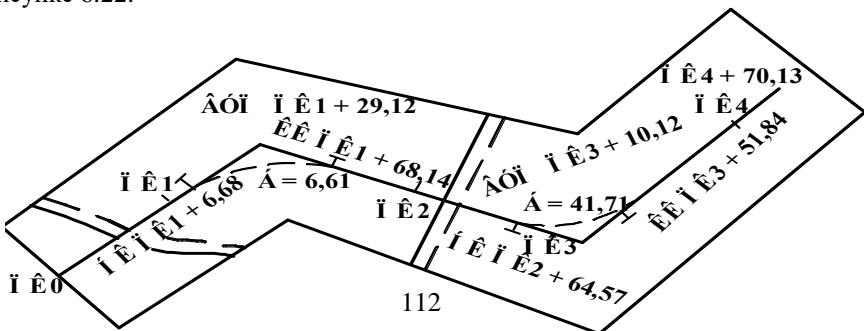


Рисунок 6.22 – План трассы

К плану трассы прилагают “Ведомость углов поворота, прямых и кривых” (таблица 6.3).

Заполнение граф “Ведомости” в с 1-й по 11-ю производится выписыванием соответствующих данных из угломерного и пикетажного журналов. Из таблицы 1.3 следует, что трасса начинается на ПК0, имеет два угла поворота и заканчивается на ПК20. В графе 14 вычисляют дирекционные углы по формуле $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} \pm \varphi$, где знак (+) берут для правых углов поворота, а знак (–) – для левых углов поворота.

Данные в графе 12 представляют собой длины прямых участков трассы (П), вычисляемые как разность пикетажного положения начала следующей кривой и конца предыдущей.

Для вычисления начального прямолинейного участка трассы берут разность пикетажа начала первой кривой и начала трассы. Длина последней прямой получается как разность пикетажа конца трассы и конца последней кривой. Для вычисления расстояний между вершинами углов поворота (ВУП) в графе 13 надо брать разности пикетажа первого угла поворота и начала трассы, каждого следующего угла поворота и предыдущего, конца трассы и последнего угла поворота. Начиная с отрезка, следующего за первым углом поворота, нужно к полученным разностям прибавлять домер предыдущей кривой, поскольку на местности он отложен, а в счет пикетажа не вошел.

Таблица 6.3 – Ведомость углов поворотов, прямых и кривых

| Углы | | Кривые | | | | | | | | | | Прямые | | |
|--|----------------|-----------------------------|------------------------------|---|------------|------------|---|------------|----|----|------------|--------------|----------|--|
| Точка трассы | Местоположение | Углы поворота | | R | Т | К | Б | Д | НК | КК | П | ВУП | α | |
| | | прав. | лев. | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| Н.Т. | ПК0 | | | | | | | | | | | | | |
| ВУП № 1 | ПК4+20,00 | | | | | | | | | | | | | |
| ВУП № 2 | ПК14+35,0 | | | | | | | | | | | | | |
| КТ | ПК20 | | | | | | | | | | | | | |
| | И т о г о | $\Sigma\varphi_{\text{пр}}$ | $\Sigma\varphi_{\text{лев}}$ | | ΣT | ΣK | | ΣD | | | $\Sigma П$ | $\Sigma ВУП$ | | |
| Контроль: $\Sigma\varphi_{\text{пр}} - \Sigma\varphi_{\text{лев}} = \alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}}$. | | | | | | | | | | | | | | |

$$2\Sigma T = \Sigma K + \Sigma D; \Sigma П + \Sigma K = L; \Sigma ВУП - \Sigma D = L.$$

Внизу таблицы “Ведомость углов поворота, прямых и кривых” производят контроль всех вычислений по формулам, приведенным под таблицей:

1) разность правых и левых углов поворота должна равняться разности конечного и начального дирекционных углов линий трассы:

$$\Sigma\varphi_{\text{пр}} - \Sigma\varphi_{\text{лев}} = \alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}};$$

2) сумма всех кривых плюс сумма всех домеров должна равняться удвоенной сумме тангенсов с допуском 0,01–0,02 м за счет ошибок округления:

$$\Sigma K + \Sigma D = 2\Sigma T;$$

3) сумма прямых участков трассы ($\Sigma\Pi$) плюс сумма кривых участков (ΣK) должна равняться общей длине трассы (L):

$$\Sigma\Pi + \Sigma K = L;$$

4) сумма расстояний между вершинами углов поворота ($\Sigma ВУП$) минус сумма домеров должна быть равна общей длине трассы:

$$\Sigma ВУП - \Sigma D = L.$$

Ведомость углов поворота, прямых и кривых наносится на свободном месте листа плана трассы.

6.13 Гидрометрические работы

Гидрометрические работы производят для определения некоторых характеристик рек и других водных препятствий, которые пересекают трассу.

К характеристикам реки относят: поперечный профиль (профиль живого сечения) реки по оси трассы; скорость течения воды в реке; уклон реки и расход воды в районе мостового перехода. Эти данные необходимы для проектирования, строительства и эксплуатации искусственных сооружений через реку, таких как мосты, тоннели, трубы, дамбы и т. д.

Различают следующие **виды гидрометрических работ**:

- а) съемка поперечного сечения реки промерами глубин через 5–10 м;
- б) определение скорости течения реки при помощи гидрометрической вертушки или поплавков;
- в) определение уклона реки в районе мостового перехода;
- г) расчет расхода воды в реке.

Съемка поперечного сечения реки. Створ оси трассы через реку закрепляют на берегах кольешками, на которых записывают их пикетажное значение. При ширине реки более 20 м рекомендуется перебросить трехмиллиметровый трос, размеченный через 5–10 м. Затем при помощи наметки или вехи с лодки промеряют через установленные интервалы глубину реки, записывают отсчеты на схематический чертеж (рисунок 6.23). Одновременно нивелируют урез воды в реке на линии створа и горизонт

высоких вод, который определяют по местным признакам или из опроса жителей.

Далее вычисляют отметку уреза воды, вычитая из которой измеренные глубины, получают отметки дна реки. После выполнения работы составляют профиль поперечного сечения реки (на миллиметровой бумаге) в масштабах: горизонтальном – 1:1000 и вертикальном – 1:100 (рисунок 6.24).

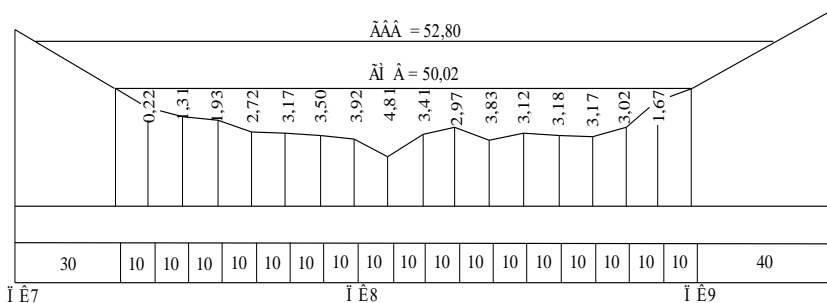


Рисунок 6.23 – Оформление чертежа промеров глубин

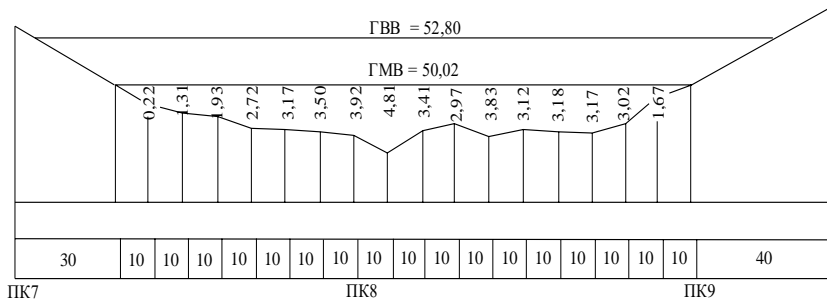


Рисунок 6.24 – Профиль живого сечения реки

Определение скорости течения реки. Скорость течения воды в реке может быть определена при помощи вертушки или поплавков. При пользовании поплавками на берегу вдоль реки измеряют базис в 50–100 м длиной, на концах которого устанавливают при помощи четырех вех два перпендикулярных базису створа. Выше по течению от первого створа в реку забрасывают поплавок и фиксируют время пересечения им первого, а затем второго створов. Расстояние между створами

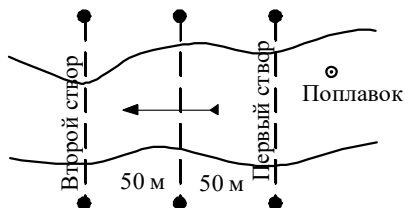


Рисунок 6.25 – Определение скорости течения реки

определяют по плану и, зная время прохождения поплавок от первого до второго створов, вычисляют скорость движения поплавок. Среднее из 3–4 значений на разном удалении от берега принимают за скорость течения реки (рисунок 6.25).

Определение расхода воды в реке. Расходом воды в реке называется количество воды, проходящее через поперечное (живое) сечение реки в одну секунду. Расход воды

$$Q = P_{\text{ср}} \cdot v,$$

где Q – средний расход воды в реке, м³/с;

v – средняя скорость течения реки, м/с;

$P_{\text{ср}}$ – средняя площадь поперечного (живого) сечения реки, определяемая как произведение средней глубины реки на ее ширину.

Например, на рисунке 6.23 средняя глубина реки, вычисляемая как среднее арифметическое из глубин реки, равна 2,57 м, а ширина реки – 170 м. Тогда $P_{\text{ср}} = 2,57 \text{ м} \cdot 170 \text{ м} = 437,6 \text{ м}^2$. Расход воды в реке $Q = 1,2 \text{ м/с} \cdot 437,6 \text{ м}^2 = 525 \text{ м}^3/\text{с}$.

Нивелирование реки. Реку нивелируют для получения ее продольного уклона. Вдоль реки, на 200 - 400м вверх и вниз по течению, от оси трассы разбивают пикетаж и дважды его нивелируют. Затем на оси трассы

и на концах хода у края воды одновременно забивают кольшики до уровня торцов с поверхностью воды и одновременным нивелированием привязывают урезы воды к соответствующим пикетам хода. По данным нивелирования вычисляют отметки поверхности воды в точках привязки. Уклон реки вычисляют как частное от деления разности отметок урезов воды на расстояния между этими точками для двух участков реки вверх и вниз по течению от оси трассы, а затем получают среднее значение (рисунок 6.26).

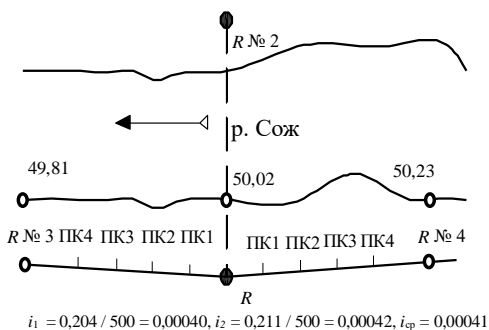


Рисунок 1.26 – Определение уклона реки

7 СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

7.1 Общие принципы геодезических разбивочных работ

Геодезическими разбивочными работами (сокращенно – разбивкой) или перенесением проекта в натуру называется комплекс геодезических

работ по определению на местности положения будущего сооружения в плане и по высоте.

Геометрической основой проекта сооружения при выносе его в натуру являются **разбивочные оси**, относительно которых на рабочих чертежах указывают расположение отдельных конструкций сооружения и их размеры. Обычно выделяют следующие виды разбивочных осей:

- *главные*, или оси симметрии сооружения (для линейных сооружений – это их продольные оси);
- *основные*, или габаритные оси, определяющие форму и размеры сооружения;
- *промежуточные*, или детальные оси, определяющие положение отдельных элементов зданий и сооружений.

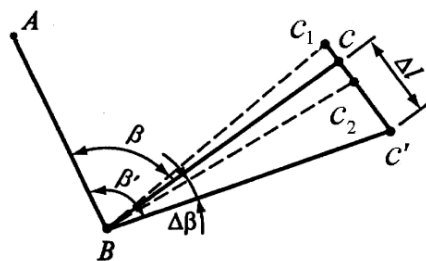
Перенос проекта в натуру обычно выполняется в несколько этапов, от пунктов геодезической разбивочной основы соответствующей точности. Геодезическая основа создается предварительно в виде сетей триангуляции, полигонометрии, строительной сетки или других геодезических построений.

На *первом* этапе производятся основные разбивочные работы. По данным привязки от пунктов геодезической разбивочной основы находят на местности положение главных или основных разбивочных осей. На *втором* этапе выполняют детальную разбивку осей.

Детальная разбивка производится значительно точнее, чем разбивка главных осей, так как она определяет взаимное положение элементов сооружения. На заключительном, *третьем* этапе, выполняют разбивку технологических осей оборудования, и осуществляется геодезический контроль за монтажом оборудования. На этом этапе работы ведутся с наибольшей точностью (в некоторых случаях до десятых долей миллиметра).

7.2 Элементы разбивочных работ

Разбивочные геодезические работы сводятся к закреплению на местности точек, определяющих проектную геометрию сооружения. Для этого выполняется целый ряд геодезических построений, которые называют элементами разбивочных работ. Основными из них являются: построение проектного угла, отложение проектного расстояния, вынос в натуру проектных отметок и уклонов.



Построение проектного горизонтального угла. Для построения заданного горизонтального угла β должно быть известно положение на местности вершины угла B и одной из его сторон

Рисунок 7.1 – Построение проектного угла

AB. Задача заключается в определении направления и закрепления на местности стороны *AC*, расположенной под углом β к стороне *AB*.

Работа ведется в следующем порядке. Теодолит устанавливают над вершиной *A* разбиваемого угла β (рисунок 7.1), приводят его в рабочее положение, наводят зрительную трубу на точку *A* и берут отсчет a по горизонтальному кругу. Открепив алидаду, устанавливают по горизонтальному кругу отсчет, равный, $a + \beta$, и по направлению визирной оси фиксируем точку c_1 .

Для исключения влияния коллимационной ошибки зрительную трубу переводят через зенит, и построение повторяют при втором положении вертикального круга, отмечая на местности вторую точку c_2 .

Полученный отрезок делят пополам и закрепляют среднюю точку c . Построенный таким образом угол *ABC* считают равным проектному.

Если проектный угол необходимо вынести с точностью, превышающей точность отсчетного устройства теодолита, поступают следующим образом. Построенный в натуре угол *ABC* измеряют несколькими приемами в зависимости от требуемой средней квадратической погрешности отложения угла и вычисляют его точное значение β' . Сравнивая величину β' с проектной β , находят поправку:

$$\Delta\beta = \beta' - \beta.$$

Зная расстояние $BC = l$, определяют линейную поправку $cc' = \Delta l$,

$$\Delta l = (\Delta\beta'' \cdot l) / \rho''.$$

Затем величину угла исправляют линейной величиной в сторону уменьшения или увеличения.

Вынос в натуру проектного расстояния. Для построения линии проектной длины необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению (все расстояния в проекте задаются именно горизонтальным проложением). Если поверхность, на которой откладывают расстояние, горизонтальна или может быть принята (в пределах заданной точности) за горизонтальную, то при перенесении линии в натуру пользуются непосредственно взятым с проекта расстоянием (рисунок 7.2). В том случае, если поверхность наклонена, необходимо ввести поправку за наклон линии, то есть отложить расстояние, которое вычисляют по формуле

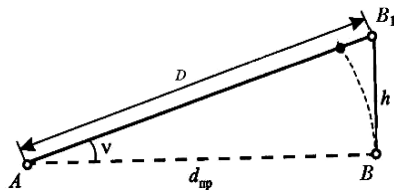


Рисунок 7.2 – Вынос проектного расстояния

$$D = d_{пр} / \cos \nu,$$

где $d_{пр}$ – горизонтальное расстояние, взятое с проекта;
 ν – угол наклона линии.

Если точность отложения расстояния не выше чем 1:2000 (на 100 м ошибка 5 см), а угол наклона не более 1° , то разницу между D и $d_{пр}$ не учитывают, и на местности откладывают расстояние, взятое с проекта. Для построения расстояния с точностью более высокой, чем 1:2000, вводят поправки за наклон, за компарирование измерительного прибора и за разность

температур при выполнении компарирования и при выполнении работы. Длина откладываемой линии

$$D = nl + r + \Delta D_k + \Delta D_\nu + \Delta D_t,$$

где n – число уложений мерного прибора;

l – номинальная длина мерного прибора;

r – остаток, меньший длины мерного прибора;

ΔD_k – поправка за компарирование мерного прибора;

ΔD_ν – поправка за наклон линии;

ΔD_t – поправка за разность температур измерения и компарирования.

Пример. Вычислить длину отрезка, который следует отложить на местности, чтобы получить проектный отрезок $d_{пр} = 50,000$ м, если поправка в длину 20-метровой стальной рулетки за компарирование $\Delta l_k = +9,0$ мм, температура компарирования $t = 20^\circ$, температура воздуха при построении отрезка $t = 4^\circ$, наклон линии $\nu = 2^\circ 30'$.

Поправки в длину линии составят:

- поправка за компарирование $\Delta D_k = \Delta l_k d_{пр}/l = +9,00 \cdot 50,00 / 20,00 = +0,022$ м;

- поправка за наклон линии $\Delta D_\nu = 2d_{пр} \sin^2(\nu/2) = 2 \cdot 50,00 \cdot \sin^2(2^\circ 30'/2) = 0,039$ м;

- поправка за разность температур измерения и компарирования

$$\Delta D_t = a(t - t_k)d,$$

где a – коэффициент линейного расширения стали;

$$\Delta D_t = 12 \cdot 10^{-6}(4 - 20) \cdot 50,00 = -0,010 \text{ м};$$

$$D = 50,00 - 0,022 + 0,010 + 0,039 = 50,027 \text{ м}.$$

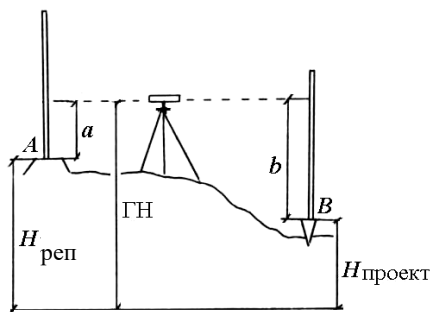


Рисунок 7.3 – Вынос в натуру проектной отметки

Вынос в натуру проектной отметки. Этот вид разбивочных работ является наиболее распространенным в практике инженера-строителя. Проектные отметки выносят в натуру, как правило, способом геометрического

нивелирования. Нивелир устанавливают примерно посередине между репером и местом перенесения отметки (рисунок 7.3) и приводят его в рабочее положение. Установив на репер с отметкой $H_{\text{реп}}$ (точка A) рейку, берут по ней отсчет a . Вычисляют горизонт нивелира:

$$\text{ГН} = H_{\text{реп}} + a.$$

Для контроля желательно аналогичным образом определить значение горизонта нивелира (ГН) от другого исходного репера. Чтобы вынести проектную отметку, необходимо знать величину отсчета b по рейке на определяемой точке (B):

$$b = \text{ГН} - H_{\text{проект}}.$$

Вычислив проектный отсчет, рейку поднимают или опускают до тех пор, пока средний штрих сетки нивелира не совпадет с отсчетом b , в этот момент пятка рейки будет совпадать с проектной отметкой. Этот уровень фиксируют в натуре и закрепляют специальным знаком (забивая кольшечек, проводя черту на строительной конструкции и т. д.).

Построение линии и плоскости заданного уклона. При выполнении вертикальной планировки, строительстве линейных сооружений (дороги, инженерные сети, трубопроводы и т. д.) всегда возникает задача построения линий и площадей с заданными уклонами. Для построения в натуре линии заданного уклона используют нивелиры, теодолиты или лазерные приборы. Построение заключается в закреплении на местности нескольких точек (минимум двух) линии, определяющих ее положение с заданным уклоном. Может быть, несколько случаев решения этой задачи, но в каждом из них расстояние d между точками известно или его надо измерить.

Чтобы построить линию $ABCD$ (рисунок 7.4) с заданными проектными уклонами (i_1, i_2, i_3) нужно определить превышения между точками A, B, C, D :

$$h_1 = i_1 d_1; \quad h_2 = i_2 d_2; \quad h_3 = i_3 d_3.$$

Затем визируют нивелиром на рейку, установленную в точке A , снимают отсчет a и вычисляют проектные отсчеты в точках B, C, D :

$$b = a - h_1; \quad c = b - h_2; \quad d = c - h_3.$$

В точках B, C, D забивают кольшечки до тех пор, пока на рейках, установленных на них, не получат отсчеты b, c, d .

Для строения линии заданного уклона прямолинейного отрезка, прежде всего, выносят на местности и закрепляют проектные отметки точек

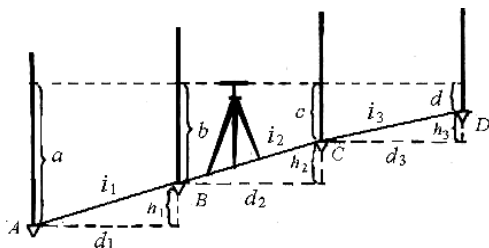


Рисунок 7.4 – Построение линии с заданными уклонами

концов отрезка A и D . Затем нивелир устанавливается в точке A так, чтобы один из его подъемных винтов располагался по направлению AD (рисунок 7.5). Измеряют высоту инструмента i , затем наклоняют зрительную трубу нивелира подъемными винтами до тех пор, пока отсчет по рейке на точках D не станет равным высоте инструмента. При этом положении зрительной трубы рейки попеременно устанавливают на промежуточных точках между A и D таким образом, чтобы отсчеты по ним были те же, что и на A и D . Уровень, проходящий через пятки реек, обозначит на местности линию с заданным уклоном.

Аналогичные построения можно выполнить и с помощью теодолита.

При разбивке плоскости заданного уклона (такая задача возникает при вертикальной планировке площадок) поступают следующим образом. Вначале выносятся проектные отметки в точках A, B, C, D (рисунок 7.6). После этого устанавливают нивелир в одной из вершин, например A , таким образом чтобы два его подъемных винта были параллельны стороне AB . Вращением этих винтов добиваются, чтобы отсчет по рейке, установленной в точке B , был равен высоте прибора. Затем выполняют визирование на точку D , и, вращая подъемный винт 1, наклоняют прибор до получения

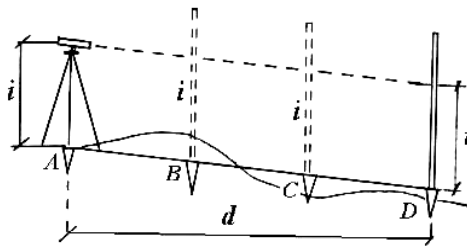


Рисунок 7.5 – Построение линии заданного уклона прямолинейного отрезка

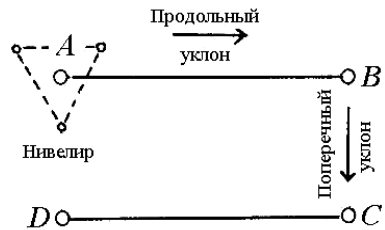


Рисунок 7.6 – Построение плоскости заданного уклона

Теперь плоскость, образованная вращением визирной оси нивелира, будет параллельна заданной плоскости A, B, C, D . Перемещая рейку в пределах площадки, устанавливают ее по высоте до получения отсчета, равного высоте прибора, получая систему точек, лежащих на проектной отметке.

7.3 Способы разбивочных работ

Разбивка сооружений является обратным по отношению к съемке действием и сводится к построению на местности характерных точек сооружения. Положение точек определяют теми же способами, которые применяют при выполнении съемочных работ. Однако при разбивке сооружений эти способы имеют отличие. Если в первом случае, то есть при съемках, эти способы применяют для непосредственных измерений, то при разбивках их используют при построениях на местности.

Выбор способа выполнения разбивочных работ определяют исходя из условий местности, типа сооружения, его размеров, требуемой точности. Главнейшими из этих способов и наиболее часто применяемыми являются способы полярных и прямоугольных координат, угловой и линейной засечек, створных засечек.

Способ полярных координат. Является одним из основных способов выноса в натуру точек главных и основных осей сооружения. Этот способ широко применяется при разбивке зданий, сооружений и конструкций с пунктов полигонометрических или теодолитных ходов при малом расстоянии от этих пунктов до выносимых в натуру точек. При этом способе положение точки сооружения на местности получают построением двух разбивочных элементов: заданного проектного угла β от стороны AB разбивочной сети и расстояния d (рисунок 7.7). Значения полярного угла β и расстояния d получаем из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов геодезической разбивочной основы и проектной точки сооружения.

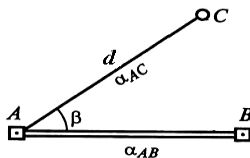


Рисунок 7.7 – Способ полярных координат

Для построения проектной точки C устанавливаем теодолит в точке A разбивочной сети. Затем наводим зрительную трубу теодолита на точку B и устанавливаем отсчет по лимбу $0^{\circ}00'$. Вращаем алидаду до тех пор, пока отсчет по лимбу не станет равным проектному углу β , и по полученному направлению, задаваемому визирной осью трубы теодолита, откладываем мерным прибором проектное расстояние d . Точность построения проектной точки будет зависеть от точности построения теодолитом угла β и точности отложения проектного расстояния d . Таким образом, средняя квадратическая погрешность разбивки этим способом

$$m_c = \sqrt{(m_\beta / \rho)^2 d^2 + m_d^2},$$

где m_β – погрешность построения проектного угла теодолитом;

m_d – погрешность построения линии мерным прибором;

ρ – переводной коэффициент из градусной меры в радианную.

Способ прямоугольных координат. Этот способ наиболее целесообразно использовать в том случае, когда на строительной площадке имеется строительная сетка. А если это городское строительство, – наличие закрепленных на местности красных линий застройки.

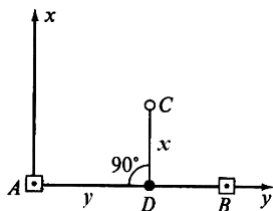


Рисунок 7.8 – Способ прямоугольных координат

Разбивку проектной точки C выполняют по вычисленным значениям ее координат x и y от ближайшего пункта строительной сетки или красной линии

(рисунок 7.8). Устанавливают теодолит в рабочее положение в точке A , визируют на точку B и в полученном створе откладывают проектное расстояние y . В полученной точке D устанавливают теодолит и строят прямой угол к направлению AB . По перпендикуляру откладывают проектное расстояние x и закрепляют полученную точку. Для контроля положение точки C можно получить, выполнив разбивку от другого пункта разбивочной основы.

На погрешность положения проектной точки будут влиять погрешности m_x и m_y откладывания расстояний x и y , а также погрешность построения прямого угла m_β . Следовательно, точность построения точки этим способом определяется величиной средней квадратической погрешности

$$m_C = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + y^2 m_\beta^2 / \rho^2}.$$

Способ прямой угловой засечки. Очень часто условия строительной площадки осложняют выполнение линейных измерений, и если при этом определяемая точка находится на значительном удалении от пунктов разбивочной основы, то целесообразно положение точки получать с помощью построения двух углов засечки β_1 и β_2 (рисунок 7.9).

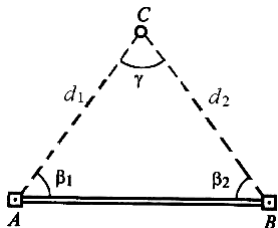


Рисунок 7.9 – Способ прямой угловой засечки

Определяется положение искомой точки C при помощи двух вычисленных горизонтальных углов β_1 и β_2 , получаемых при решении обратной геодезической

задачи.

Проектное положение точки C находят, откладывая на исходных пунктах A и B углы β_1 и β_2 . Точка C будет располагаться на пересечении двух створов AC и BC .

Точность построения проектной точки C в способе прямой угловой засечки можно определить по формуле

$$m_C = m_\beta / (\rho \sin \gamma) \sqrt{d_1^2 + d_2^2},$$

где m_β – точность построения угла теодолитом;

γ – угол засечки;

d_1 и d_2 – расстояния от пунктов опорной сети до проектной точки.

Способ линейной засечки. Данный способ для выноса точек сооружения в натуру применяют в том случае, когда они расположены от пунктов строительной сетки или геодезической опорной сети на расстоянии, не превышающем длину мерного прибора. Искомая точка C на местности получается пересечением двух дуг, проведенных

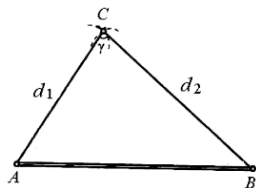


Рисунок 7.10 – Способ линейной засечки

радиусами AC и BC (рисунок 7.10). Наиболее удобно выполнять разбивку при помощи двух рулеток. От точки A по рулетке откладывают расстояние d_1 , а от точки B по второй рулетке – расстояние d_2 . Перемещая обе рулетки при нулях совмещенными с центрами пунктов A и B на пересечении концов отрезков d_1 и d_2 , получаем положение определяемой точки.

На положение точки C окажут влияние погрешности откладывания расстояний d_1 и d_2 . Точность положения точки на местности способом линейных засечек определяют по формуле

$$m_c = 1/\sin \gamma \sqrt{m_{d_1}^2 + m_{d_2}^2}.$$

Способ створной засечки. Способ створной засечки очень часто применяют для выноса в натуру разбивочных осей зданий и сооружений, монтажных осей конструкций, технологического оборудования. Положение проектной точки C в способе створной засечки определяется пересечением двух створов, задаваемых между исходными точками (рисунок 7.11). Наилучшая засечка получается, когда створы пересекаются под прямым углом.

Створы желательно строить двумя теодолитами. В створном способе важное значение имеет центрировка теодолитов, особенно в направлениях, перпендикулярных к заданному створу.

Основными погрешностями при построении створов являются погрешности положения исходных точек, погрешности центрирования теодолита и визирных целей, погрешность визирования.

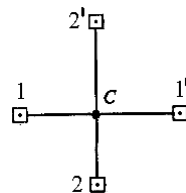


Рисунок 7.11 – Способ створной засечки

8 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

При возведении современных объектов промышленного и гражданского строительства требуется особо точное соблюдение проектной схемы геометрически и технологически связанных между собою сооружений. Для этого на строительной площадке создается специальная разбивочная основа, обеспечивающая возможность взаимной увязки всех элементов проекта и получения исходных данных для выноса проекта в натуру.

Основой для определения положения точек и линий сооружения могут служить геодезические опорные пункты, строительная сетка, красная линия застройки, предметы местности.

Для выполнения разбивочных работ необходимо иметь следующие **основные технические документы**: разбивочный чертеж с указанием на нем элементов привязки к опорной сети или постоянным предметам местности;

рабочие чертежи, на которых в крупных масштабах показаны планы и разрезы, профили всех частей сооружения с размерами и высотами деталей; план организации рельефа; планы и профили дорог, подземных коммуникаций.

До начала выполнения геодезических работ необходимо изучить чертежи строящегося объекта и проверить взаимную увязку размеров, координат и отметок в чертежах, используемых при разбивочных работах, а при необходимости составить дополнительные разбивочные чертежи (схемы). Недостающие для геодезических построений на строительной площадке размеры и отметки должны определяться аналитически. Графическое определение размеров и отметок допускается как исключение при строительстве временных зданий и сооружений.

К началу производства разбивочных работ соответствующие участки должны быть освобождены от строений, подлежащих сносу. Для закладки реперов и знаков, закрепляющих оси зданий и сооружений, должны быть подготовлены свободные места. Для измерения линий, углов должны быть расчищены полосы шириной не менее 1 м.

8.1 Геодезическая разбивочная основа для строительства

В состав геодезических работ, связанных с их выполнением непосредственно на строительной площадке, входят:

- создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающее построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей зданий и сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений, а также для монтажа технологического оборудования;

- разбивка внутриплощадочных линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);

- создание внутренней разбивочной сети здания (сооружения) на исходном и монтажном горизонтах и разбивочной сети для монтажа технологического оборудования, а также производство детальных разбивочных работ;

- геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки законченных объектов или их отдельных частей с составлением исполнительной геодезической документации;

- геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора.

Указанные выше геодезические работы являются необходимой частью технологии строительно-монтажных работ и осуществляются по единому графику, увязанному со сроками выполнения процесса строительного

производства. Для крупных и сложных объектов и зданий выше 9 этажей разрабатываются проекты производства геодезических работ.

Геодезические работы в строительстве выполняются в объеме и с точностью, которые обеспечивают при размещении и возведении объектов строительства соответствие геометрических параметров проектной документации требованиям строительных норм и правил. Поэтому для выполнения работ по геодезическому обеспечению строительства на объектах необходимо иметь разбивочную основу.

Геодезическая основа стройплощадки строится из сети плановых и высотных пунктов и служит для выноса в натуру всех объектов строительства в плане и по высоте на основе проекта.

В соответствии с техническим кодексом установившейся практики ТКП 45-1.03-26-2006 «Геодезические работы в строительстве. Правила проведения» предлагаются *схемы плановой разбивочной сети* строительной площадки в виде строительной сетки, красных линий, центральной системы (рисунок 8.1).

Такое обоснование позволяет осуществить разбивку основных осей сооружения. Полученную систему пунктов называют внешней разбивочной основой. Схема плановой разбивочной основы строительной площадки выбирается в зависимости от размеров стройплощадки, характера сооружения, требуемой точности работ. Кроме того, на практике стремятся к тому, чтобы точки разбивочной основы были одновременно высотными пунктами, отметки которых получают способом геометрического нивелирования.

Основные требования, которые предъявляются к разбивочной основе, следующие:

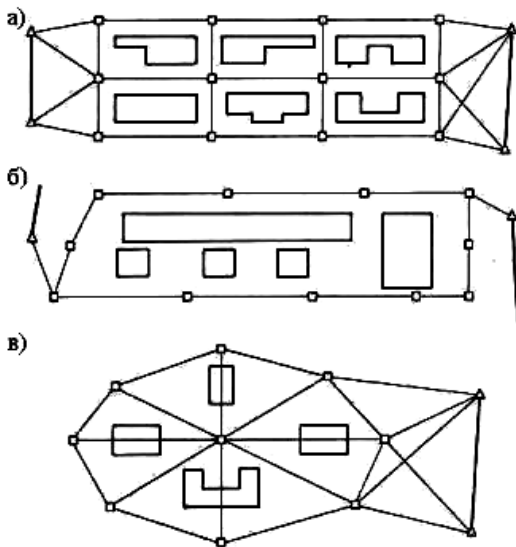


Рисунок 8.1 – Схемы разбивочной сети:
а – строительная сетка; б – красная линия;
в – центральная система

- пункты разбивочной основы выбираются таким образом, чтобы они были удобны для установки геодезических приборов и по возможности сохранялись до конца строительства;

- она должна иметь заданную степень точности, которая устанавливается с учетом вида и характера сооружения.

Для геодезических работ в строительстве техническим кодексом установлены средние квадратические погрешности измерений при создании разбивочной сети строительной площадки (таблица 8.1).

Таблица 8.1 – Средние квадратические погрешности измерений при разбивке сетей строительной площадки

| Объекты строительства | Допустимая средняя квадратическая погрешность | | |
|---|---|--------------------|-----------------------------|
| | угловые измерения | линейные измерения | превышения на 1 км хода, мм |
| Здания на участке площадью более 1 км ² , отдельно стоящие здания с площадью застройки более 100 000 м ² | 3" | 1/25 000 | 4 |
| Здания на участке площадью менее 1 км ² ; отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки от 10 000 до 100 000 м ² | 5" | 1/10 000 | 6 |
| Отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки менее 10 000 м ² ; дороги, инженерные сети в пределах застраиваемых территорий | 10" | 1/5 000 | 10 |
| Дороги, инженерные сети вне застраиваемых территорий; земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка | 30" | 1/2 000 | 15 |

8.2 Разбивка и закрепление основных осей зданий и сооружений

Весь процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, то есть его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности. Следующая затем детальная разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

Основным документом, по которому выполняются работы по выносу проекта в натуру, является **разбивочный чертеж**. Его составляют в масштабах 1:500 – 1:2000, а иногда и крупнее, в зависимости от сложности сооружения. На разбивочном чертеже показывают контуры выносимых зданий и сооружений, их размеры и расположение осей, пункты разбивочной основы, разбивочные элементы.

Геодезические работы следует выполнять после предусмотренной проектной документацией расчистки территории, освобождения ее от строений, подлежащих сносу, и, как правило, после вертикальной планировки.

Выбор способа разбивки зависит от вида сооружения, условий его возведения, схемы построения разбивочной основы, требуемой точности выполнения разбивочных работ и т. д.

Главные или основные оси сооружения выносят с точек закрепления осей внешней разбивочной сети при помощи теодолита. Эту работу выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита.

Рассмотрим случай, когда, согласно проекту генерального плана и данным разбивочного чертежа, необходимо произвести *вынос в натуру здания прямоугольной формы* с размерами в осях 36×90 м. На рисунке 8.2 указаны все разбивочные размеры с привязками к геодезической основе. В данном примере это стороны строительной сетки с закрепленными на местности вершинами № 25, 26, 37 и 38 (аналогично будет выполняться вынос в натуру сооружения с привязкой от красной линии или от существующих зданий и сооружений).

Сначала выносят более длинную сторону. Для этого от ближайших пунктов геодезической основы (в нашем примере это точки № 25 и 26) переносят в натуру контур здания по способу прямоугольных координат.

Для этого разбивают вспомогательные точки *M* и *N* в створе линии между пунктами № 25 и 26. Над точками *M* и *N* устанавливают теодолит и строят углы в 90° при двух положениях вертикального круга. От инструмента в направлении *NB* и *MA* откладывают последовательно расстояния 30 и 36 м и закрепляют точки *A*, *B*, *C*, *D* металлическими штырями или кольями. После закрепления вынесенных точек устанавливают на каждой из них теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей.

Кроме того, проверяют соответствие расстояний между осями их проектным значениям, проверяются диагонали здания. Следует иметь в виду, что взаимная перпендикулярность основных осей является одним из

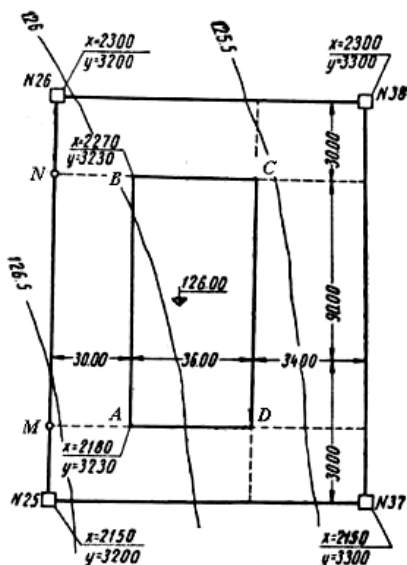


Рисунок 8.2 – Схема разбивки основных осей здания

главнейших требований, предъявляемых к их разбивке. Расхождения между полученными и заданными размерами не должны превышать 1:2000–1:3000.

Допустимые средние квадратические погрешности измерений при производстве разбивочных работ в процессе строительства принимают в соответствии с таблицей 8.2.

При рытье котлована под строящееся здание вынесенные точки *A, B, C, D* (см. рисунок 8.2) будут уничтожены. Для сохранения основных осей на весь период строительства каждую из них закрепляют створными точками (2) (рисунок 8.3). Если в створе осей находятся капитальные строения (1) то на их стенах оси маркируют яркой несмываемой краской.

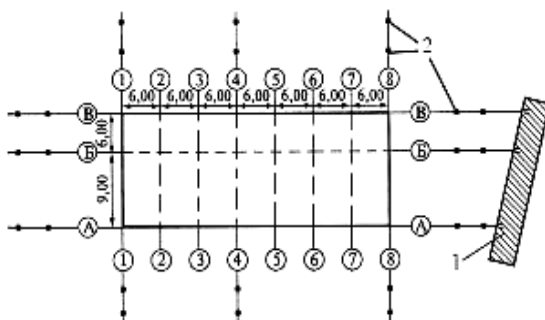
Таблица 8.2 – Допустимая средняя квадратическая погрешность измерений

| Здания, строительные конструкции | Допустимая средняя квадратическая погрешность | | | | |
|--|---|-------------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| | Линейные измерения | Угловые измерения | Превышения на станции, мм | Отметки на монтажном горизонте относительно исходного, мм | Передача точек, осей по вертикали, мм |
| Металлические конструкции с фрезерованными контактными поверхностями; сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах; сооружения высотой св. 100 до 120 м или с пролетами св. 30 до 36 м | 1/15000 | 5" | 1 | Числовые значения погрешностей следует назначать в зависимости от высоты монтажного горизонта | |
| Здания св. 15 этажей, сооружения высотой св. 60 до 100 м или пролетами св. 18 до 30 м | 1/10000 | 10" | 2 | – | – |
| Здания св. 5 до 15 этажей, сооружения высотой св. 15 до 60 м или пролетами св. 6 до 18 м | 1/5000 | 20" | 2,5 | – | – |
| Здания до 5 этажей, сооружения высотой до 15 м или пролетами до 6 м | 1/3000 | 30" | 3 | – | – |
| Конструкции из дерева, инженерные сети, дороги, подъездные пути | 1/2000 | 30" | 5 | – | – |
| Земляные сооружения, в том числе вертикальная | 1/1000 | 45" | 10 | – | – |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| планировка | | | | | |
| <p><i>Примечания</i></p> <p>1 При наличии двух и более характеристик величины средних квадратических погрешностей назначают по той характеристике, которой соответствует более высокая точность.</p> <p>2 Точность геодезических построений для строительства объектов с повышенной геометрической точностью следует определять с учетом особых требований к допускам, предусматриваемым проектной документацией.</p> | | | | | |

Створные точки закрепляют за пределами разработки котлована, вне призмы обрушения, в местах, свободных от складирования строительных материалов и т. д., руководствуясь стройгенпланом. При монтаже надземной части здания со створных точек основные оси передаются на его этажи. Поэтому при выборе мест размещения створных точек учитывают и этажность здания: чем оно выше, тем дальше от него должны отстоять створные точки. На рисунке 8.3 такими точками будут точки расположенные по осям 1-1, 4- 4, 8-8, А-А, Б-Б, В-В. Оси закрепляют по обе стороны от габаритов сооружения не менее чем двумя знаками. Знаки, которыми точки закреплены, должны быть тем надежнее, чем сложнее и крупнее сооружение.

Рисунок 8.3 – Закрепление осей сооружения



Для выполнения в дальнейшем детальной разбивки параллельно контуру сооружения устраивают **строительную обноску**. Расстояние от оси рассчитывают таким образом, чтобы обноска не попала в зону обрушения при устройстве котлована. Обноска может быть сплошной, разреженной или створной. Сплошная обноска устанавливается параллельно осям, окаймляя все сооружение. Этот вид обnosки обычно применяют при устройстве сборных и монолитных фундаментов с большим объемом опалубочных работ, при сложной конфигурации опалубки, при значительном количестве устанавливаемых закладных деталей, анкерных болтов. Сплошная обноска применяется редко из-за большой величины и сложности устройства, а также из-за создания помех для нормальной работы механизмов на строительной площадке.

Створная и разрезенная обноски являются более рациональными, так как их устанавливают только в местах закрепления осей (рисунок 8.4). Обноска представляет собой доску толщиной 40–50 мм, закрепленную горизонтально на столбах диаметром 15–20 см, установленных на расстоянии от 3 до 6 м друг от друга, на высоте 500–700 мм от земли.

Стороны обноски должны быть параллельны соответствующим осям сооружения. Поверхность обноски должна быть горизонтальной. Такие же требования предъявляются и к инвентарной обноске (рисунок 8.5). Инвентарная обноска изготавливается из стальных труб в виде стоек (1), забиваемых в грунт на расстоянии 2–4 м друг от друга. К верхней части стоек крепятся на хомутах (2) трубчатые перекладины.

Другая конструкция инвентарной обноски (рисунок 8.5, б) состоит из стальных стоек (1) и струбины (2), в гнездо которой укладывается и закрепляется перекладина из обрезной доски. Необходимо, чтобы обноска была неподвижна и сохраняла одно и то же положение во всех своих частях, как в плане, так и по высоте.

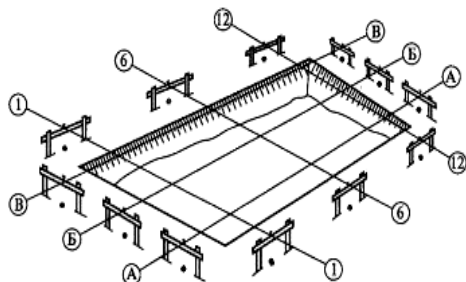


Рисунок 8.4 – Створная обноска

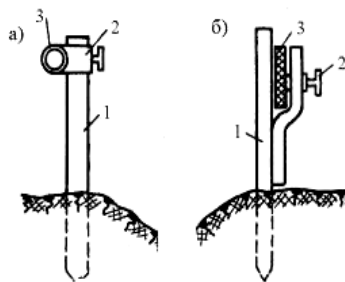


Рисунок 8.5 – Инвентарная обноска

После устройства обноски на нее с помощью теодолита переносят оси здания. Для этого теодолит устанавливают на одной из вершин прямоугольника, например в точку А/1 (см. рисунок 8.3). Теодолит центрируют, приводят в горизонтальное положение. Совмещают нуль алидады с нулем лимба и наводят зрительную трубу на точку А/8. После этого, перемещая трубу в вертикальной плоскости, проектируют ось на обноску. Открыв закрепительный винт алидады, откладывают угол 180° и намечают на обноске вторую точку, фиксирующую положение оси А-А. Для контроля делают то же самое при другом положении вертикального круга. Если намеченные точки на обноске при двух положениях вертикального круга не совпадают, то за окончательный результат принимают среднее. Затем трубу наводят на точку В/1 и намечают точно

также ось 1-1. Переставив инструмент в точку В/8 аналогичным образом, наносят оси В-В и 8-8. После выноса осей измеряют расстояние между осевыми метками на обноске (в том случае, если обноска установлена параллельно осям сооружения) и сравнивают их с проектными.

Для строительства здания за пределами контура котлована закрепляют не менее двух внешних рабочих реперов, а для многосекционных зданий – не менее одного рабочего репера на две секции. В качестве рабочих реперов можно использовать знаки внешней разбивочной сети здания. Рабочий репер должен находиться в удобном для пользования месте.

Детальная разбивка осей оформляется исполнительным чертежом разбивки основных осей и составляется акт приемки-передачи ниже приведенной форме.

АКТ
приемки-передачи результатов геодезических работ
при строительстве зданий, сооружений

« » 20 г.

Объект _____
(наименование объекта строительства)

Комиссия в составе: ответственного представителя строительномонтажной организации, передающей работы

(фамилия, инициалы, должность)
ответственного представителя строительномонтажной организации, принимающей работы

(фамилия, инициалы, должность)
рассмотрела представленную техническую документацию на выполненные геодезические работы (схемы геодезической разбивочной основы для строительства, внутренней разбивочной сети здания, сооружения, схемы исполнительных съемок, каталоги координат, отметок, ведомости и т. д.) при строительстве _____
(наименование объекта)

Предъявленные к приемке знаки разбивочной сети, их координаты, отметки, места установки и способы закрепления соответствуют представленной на них технической документации, и работы выполнены с соблюдением заданной точности построений и измерений.

На основании изложенного комиссия считает, что ответственный представитель _____ строительномонтажной _____ организации

(наименование организации)

сдал, а представитель строительного-монтажной организации _____

(наименование организации)

принял указанные выше работы по _____
(наименование объекта, отдельных частей зданий и сооружений)

Приложения: _____
(чертежи, схемы, ведомости и т. п.)

Представитель строительного-монтажной организации, передающей работы,

(подписи производителя работ, работника геодезической службы)

Представитель строительного-монтажной организации, принимающей работы,

(подписи производителя работ, работника геодезической службы)

8.3 Геодезические работы при устройстве котлованов

При устройстве котлована выполняются следующие основные **геодезические работы**: разбивка и закрепление в натуре контуров котлована, предварительное нивелирование дневной поверхности в пределах контура котлована, контроль за отрывкой котлована, передача разбивочных осей и высотных отметок на дно котлована, исполнительные съемки открытого котлована.

Перед началом разработки котлована площадку, предназначенную для проведения земляных работ, нивелируют. При нивелировании обычно используют точки пересечения осей (см. рисунок 8.3), которые образуют сетку прямоугольников. От вынесенных на обноску осей сооружения разбивают контур котлована в соответствии с данными разбивочного чертежа, определяющими форму и размеры котлована. Для этого по вынесенным на обноску рискам осей натягивают монтажную проволоку (см. рисунок 8.4), и их проекции закрепляют кольями. Разбивку ведут *способом промеров*. Если котлован разрабатывают с откосами, то при разбивке необходимо наметить очертание верхней бровки откоса. Ширина котлована поверху будет зависеть от его глубины, отметок дневной поверхности и коэффициента откоса.

Для разбивки траншей *под ленточные фундаменты* от основных осей вправо и влево откладывают величины, указанные на рабочих чертежах, которые составляют ширину подошвы фундамента с запасом по ширине для установки опалубки.

Разбивка котлована *под столбчатые фундаменты* ведется по основным и вспомогательным осям, в створе которых намечают центры фундаментов.

Контроль за ходом *выемки грунта* и доведением глубины котлована до проектной отметки осуществляется с помощью нивелира или визирок. Если котлован имеет значительные размеры, то эффективным контролем

глубины является тригонометрическое нивелирование. В этом случае оно имеет ряд преимуществ перед геометрическим нивелированием (экономия времени, удобство, простота измерения, определение отметок нескольких точек с одной станции). Для контроля разработки грунта можно применять и лазерные приборы. Устанавливая луч лазера параллельно проектной отметки и отмеряя необходимые величины, можно выполнять контроль *планировки*. Выемку грунта в котлованах заканчивают с недобором грунта на 5–10 см до проектной отметки. Остающийся слой выбирается либо вручную, либо планировочными машинами, чтобы не нарушить материковый грунт основания.

После исполнительной съемки котлована и установления соответствия его проекту на дно котлована переносят оси. Перенесение осей сооружения на дно котлована производится способом створных засечек с точек закрепления осей, расположенных вне зоны земляных работ. При способе створных засечек теодолит устанавливают над точкой закрепления оси сооружения. Визируют на противоположную точку оси и, наклонив трубу, закрепляют створ в котловане двумя точками. Таким образом, переносят все оси сооружения и на дне котлована по этим точкам натягивают струны. При необходимости створ сдвигают на наружные грани конструкций фундамента.

В глубоких котлованах на дне строят обноску на высоте 0,8–1,5 м над основанием котлована и на нее створными засечками передают основные оси со знаков закрепления так же, как это делают на поверхности земли.

8.4 Геодезические работы при сооружении фундаментов

Исходными данными для выполнения геодезических работ по устройству фундаментов являются: схемы осей зданий с расстояниями между ними и привязкой к конструкциям фундаментов, планы и разрезы фундаментов, отметки опорных поверхностей оснований и фундаментов.

Точность устройства фундаментов характеризуется величинами смещения осей элементов относительно монтажных осей и смещением опорных поверхностей от проектных по высоте.

Состав геодезических работ определяется типом сооружаемого фундамента. Если фундаменты сборные ленточные, то перед монтажом на фундаментных блоках наносят установочные риски для совмещения оси блока с разбивочной осью (рисунок 8.6). На дно котлована выносят оси под установку угловых и маячных фундаментных блоков.

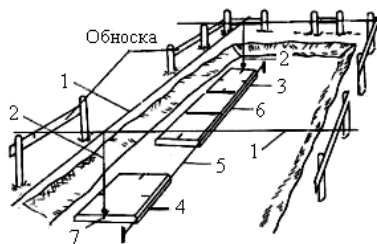


Рисунок 8.6 – Передача разбивочных осей с обноски

Для этого по меткам на обноске натягивают стальную проволоку (1) и прикрепляют к ней отвесы (2). Сначала устанавливают угловые и маячные блоки (3, 4), добиваясь совпадения установочных рисков блоков (7) с отвесами. Натянув затем вдоль граней уложенных блоков шнур (5), укладывают по нему промежуточные блоки (6).

После окончания монтажа ряда блоков производят нивелирования для определения отклонения верхних поверхностей блоков от проектного положения по высоте. В случае необходимости производят их выравнивание для выполнения следующих работ.

При длине сооружения более 50 м детальная разбивка осей под фундаменты и их установка производится с помощью теодолита или электронного тахеометра, установленных и ориентированных по двум взаимно перпендикулярным осям и измерением расстояний компарированной металлической или лазерной рулеткой. В этом случае укладываемые блоки ориентируют по теодолиту, перемещая их относительно створа визирной оси трубы, пока установочные риски блока не совпадут с вертикальной нитью сетки.

При устройстве монолитных фундаментов на свайном основании разбивка свайного поля производится от точек пересечения осей, вынесенных теодолитом. Теодолит поочередно центрируют над точками пересечения осей, и по заданному направлению откладывают проектные расстояния до центров свай. После забивки свай разбивка состоит в нанесении продольных и поперечных осей сооружения на оголовки свай. Оси переносят при помощи теодолита с закрепленных створных точек на сваи, предварительно срубленные до проектной отметки. После этого выполняют плано-высотную съемку свайного поля с последующим составлением исполнительной схемы. Арматуру каркасов и опалубку ростверка размечают в плане от осей, вынесенных на оголовки свай. Правильность установки опалубки проверяют, измеряя расстояния от осевых рисков на оголовках свай до внутренней грани опалубки.

При устройстве фундаментов из монолитного железобетона в готовом котловане предварительно устанавливают опалубку. Контур опалубки устанавливают от осей сооружения, которые вынесены на обноску. Для этого используют, в зависимости от размеров фундамента, теодолит или натянутую по осям на обноске стальную проволоку и отвесы. Внутренняя часть опалубки по своему положению и размерам должна соответствовать проекту. Ошибка в плане не должна превышать 5–10 мм. Вертикальность щитов опалубки проверяют по отвесу или уровнем. Отклонение от вертикали более 5 мм на 1 м высоты опалубки не допускается.

Работа по установке опалубки завершается ее выверкой с помощью теодолита и выноса отметки верха заливки бетона на внутренней стороне опалубки. При устройстве фундаментов стаканного типа опалубку стакана

устанавливают таким образом, чтобы после бетонирования дно стакана было ниже проектной отметки на 2–3 см.

После окончания работ по устройству фундаментов проводят исполнительную съемку их положения в плане и по высоте.

8.5 Геодезические работы при возведении надземной части сооружений

8.5.1 Построение разбивочной основы на исходном горизонте

Геодезические работы при возведении надземной части сооружений состоят из построения опорной разбивочной сети на исходном горизонте, передаче разбивочных осей и отметок на вышележащие горизонты и детальной разбивки мест положения конструкций на монтажном горизонте.

Исходным горизонтом обычно называют плоскость, проходящую через опорные площадки последних по высоте несущих конструкций подземной части здания, перекрытие подвала, бетонная подготовка или блоки фундамента. Построение разбивочной основы может осуществляться на блоках фундамента, бетонной подготовке или перекрытии подземной части.

Плановая разбивочная основа на исходном горизонте создается обычно в виде правильных фигур, повторяющих общую конфигурацию сооружения. Стороны плановой основы располагают параллельно осям сооружения так, чтобы разбивка установочных осей могла выполняться непосредственными линейными измерениями вдоль сторон разбивочной оси или методом построения створов.

Построение разбивочной основы начинают с переноса основных осей сооружения со створных знаков на цокольную часть. Для этого устанавливают теодолит над одним из знаков. Трубу теодолита наводят на другой знак. Вращая трубу теодолита в вертикальной плоскости, по центру сетки нитей на цокольной части отмечают краской или маркером разбивочную ось. Правильность перенесения осей контролируется промерами стальной рулеткой. Кроме этого на цокольную часть выносят проектную высоту пола первого этажа.

Одновременно с переносом и закреплением осей на цокольной части выполняют построение разбивочной основы на исходном горизонте. Расположение точек и их количество определяются возможностью их дальнейшей передачи на монтажный горизонт. Если перенос осей предполагается выполнять методом вертикального проецирования, то места закрепления точек выбирают так, чтобы можно было устроить отверстия во всех перекрытиях.

При передаче осей методом наклонного проецирования разбивочная основа создается таким образом, чтобы точки пересечения осей размещались как можно ближе к внешнему краю здания.

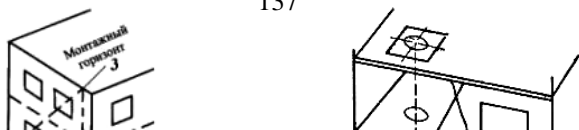
8.5.2 Передача осей и отметок на монтажный горизонт

Монтажным горизонтом называется условная плоскость, проходящая через опорные площадки возведенных несущих конструкций определенного этажа или яруса надземной части сооружения, на которой ведутся монтажные работы. Для выполнения детальной разбивки осей на монтажном горизонте точки разбивочной основы, определяющие положение осей, переносят с исходного горизонта на монтажный.

В зависимости от типа сооружения, его этажности, конструктивных особенностей и стесненности строительной площадки перенос точек опорной сети на монтажный горизонт может осуществляться наклонным проецированием (рисунок 8.7) с помощью теодолита или вертикальным (рисунок 8.8) с помощью приборов вертикального проецирования.

Способ наклонного проецирования обычно применяют при возведении сооружений малой и средней этажности и при наличии больших свободных территорий в пределах строительной площадки. При этом способе теодолит центрируют над створным знаком 1 (см. рисунок 8.7). Наводят трубу на точку на исходном горизонте 2 и затем, поднимая ее в вертикальной плоскости, по вертикальному штриху сетки нитей фиксируют направление оси на перекрытии монтажного горизонта 3. То же самое делают при втором положении вертикального круга и из двух положений оси отмечают среднее. Аналогичным образом определяют положение оси в перпендикулярном направлении. В пересечении получаем точку на монтажном горизонте как проекцию соответствующей точки исходного горизонта.

Метод передачи осей наклонным лучом обладает рядом недостатков. При проецировании точек разбивочных осей на монтажные горизонты этим способом на точность передачи влияют ошибки наклона оси вращения инструмента, визирования, фиксации точки на монтажном горизонте, установки инструмента в створ, коллимационная ошибка. Это все в сумме может дать ошибку в положении оси на этаже, достигающую 5–10 мм. Поэтому при возведении зданий повышенной этажности и в стесненных условиях применяют *метод вертикального проецирования* (рисунок 8.8). При использовании этого метода возможны два варианта передачи осей: сквозной, при котором точки с исходного горизонта проецируются последовательно на все монтажные горизонты и шаговый, когда проецирование ведется с исходного на первый монтажный горизонт, с первого на второй и т. д. В обоих случаях методика выполнения работ одинакова. При этом способе передачи осей применяют приборы вертикального проецирования (ПВП). К ним относятся оптический двухсторонний центрир ОДЦ, прибор оптического вертикального проецирования ПОВП, прибор вертикального проецирования PZL, лазерный зенит-центрир и др. Проецирование называется зенитным,



если определяемая точка расположена выше заданной, и надирным – если ниже заданной.

Рисунок 8.7 – Способ наклонного проецирования осей способом

Опорные точки располагают на линии, параллельной оси конструкции, непосредственно на перекрытии исходного горизонта либо за пределами сооружения на выносных площадках. Места расположения этих точек выбираются таким образом, чтобы их можно было использовать в течение всего периода строительства.

Для переноса осей на следующие горизонты над опорной точкой устанавливается прибор, и опорная точка проецируется по вертикали на специальную палетку, закрепленную над отверстием в перекрытии монтажного горизонта. Применение приборов вертикального проецирования ускоряет процесс переноса осей на этажи и позволяет выполнять разбивочные работы одновременно с монтажными.

Вопрос о выборе способа проецирования (сквозной или шаговый) решается в каждом конкретном случае.

Высотным разбивочным обоснованием на каждом монтажном горизонте служат *рабочие реперы*, отметки которых получают от исходных реперов высотной разбивочной основы. Число рабочих реперов на монтажном горизонте зависит от количества секций или захваток, но должно быть не менее двух. Рабочими реперами могут служить закладные детали в конструкциях данного этажа или откраски на строительных конструкциях.

Отметки на монтажный горизонт передаются *способом геометрического нивелирования* с помощью двух нивелиров и стальной компарированной рулетки. На исходном и монтажном горизонтах устанавливают нивелиры (рисунок 8.9) или можно переносить один нивелир. На реперах,

Рисунок 8.8 – Способ вертикального проецирования осей

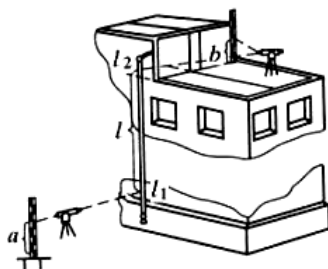


Рисунок 8.9 – Передача отметки на монтажный горизонт

между которыми передаются отметки, устанавливают рейки. Берут отсчеты a и b по рейкам и отсчеты l_1 и l_2 – по подвешенной рулетке. Разность отсчетов $l = l_2 - l_1$ даст нам превышение верхнего горизонта нивелира над нижним горизонтом. Искомую отметку вычисляем по формуле

$$H = H_{\text{исх}} + (a - b) + l.$$

Точность передачи отметки таким способом будет зависеть от ошибок при снятии отсчетов по рейкам и рулетке, учета температуры рулетки и компарирования.

Передача отметки на монтажный горизонт может быть также выполнена путем фиксации отметки на строительных конструкциях исходного горизонта и вертикального промера по строительным конструкциям до соответствующей откраски на монтажном горизонте. Для удобства пользования на монтажном горизонте обычно фиксируют отметку, кратную целым метрам или полуметрам, например: +12,000 или +12,500.

8.5.3 Геодезические работы при возведении надземной части сборных зданий

Перед началом монтажных работ необходимо провести **контроль геометрических параметров сборных конструкций**, так как в процессе изготовления железобетонных элементов, при их транспортировке и хранении на строительной площадке не только изменяются их линейные размеры, но искажается также и форма самого изделия. При этом возможны перекосы, трапециевидность, их выпуклость, пропеллерность и т. д.

Все эти факторы оказывают существенное влияние на точность установки конструкций в проектное положение. Поэтому при поступлении конструкций на монтажную площадку их геометрические параметры (размеры, перекося и пропеллерность граней, расположение закладных деталей и т. д.) подвергаются выборочному контролю.

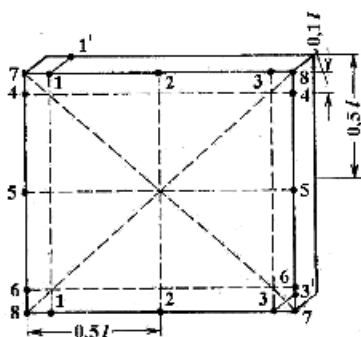


Рисунок 8.10 – Схема выполнения контрольных измерений

На рисунке 8.10 показана в качестве примера схема измерения плоских железобетонных элементов (наружных и внутренних стен, панелей перекрытий). Целесообразность такой схемы объясняется тем, что размеры 1-1, 2-2 и 3-3 характеризуют высоту элемента и параллельность граней, образующих горизонтальный шов, размеры 4-4, 5-5 и 6-6 – ширину элемента и параллельность других граней, образующих вертикальный шов, размеры 1-1' и 3-3' – толщину элемента. Три измерения высоты и ширины дают возможность установить

овальность элемента. Размеры 7-7 и 8-8 характеризуют длину диагоналей. Разность диагоналей определяет наличие перекосов, ведущих к образованию клиновидных швов.

Все полученные отклонения сравнивают с допусками и делают заключение о пригодности этой конструкции к монтажу. Контролю обычно подлежат наиболее ответственные конструкции.

Геодезические работы при возведении надземных частей сборных зданий заключаются в разметке ориентировочных рисков для установки (монтажа) конструктивных элементов и выносе высотных отметок монтажного горизонта. На перекрытии, до начала монтажа сборных элементов, от переданных основных осей здания наносят риски, указывающие положение конструктивных элементов, как по наружным, так и по внутренним стенам (продольным и поперечным). При детальной разбивке установочных рисков размеры откладывают от основных осей здания нарастающим итогом с обязательными контрольными промерами всех расстояний. Установка конструкций в проектное положение включает следующие операции:

- приведение конструкции в проектное положение;
- закрепление конструкции в проектном положении;
- геодезический контроль установленных в проектное положение конструкций.

Одновременно с детальной разбивкой с помощью нивелирования определяют **отметку монтажного горизонта**, то есть расчетную отметку низа монтируемых элементов. Для этого нивелируют все опорные плоскости, не менее чем в двух точках под каждую панель. Отметку монтажного горизонта принимают равной отметке самой высокой точки при условии, что эта отметка не превышает проектную более чем на 20 мм.

Основными элементами каркасных зданий являются колонны, ригеля и плиты перекрытия. Геодезическую разбивку и выверку производят в основном для монтажа колонн. Все остальные конструкции монтируются практически без участия геодезиста.

До начала монтажа каркасных зданий производят **разметку сборных элементов**. Для этого на них наносят установочные риски. Низ колонн приводят в проектное положение, совмещая установочную риску монтируемой колонны с ориентировочной (осевой) риской, размеченной на лежащих ниже элементах (фундаментах, опорах) (рисунок 8.11).

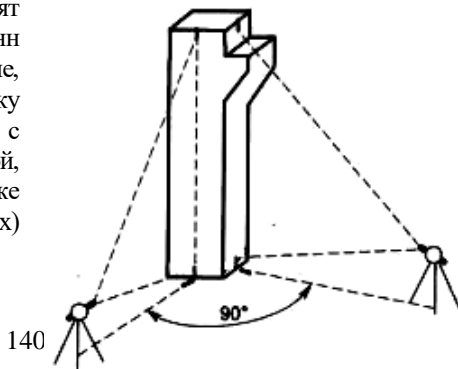


Рисунок 8.11 – Установка колонны

Выверку по вертикали осуществляют двумя теодолитами по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. При выверке колонны в верхнем сечении возможно ее смещение в нижнем сечении. Поэтому после выверки верха необходимо поправить положение низа колонны.

По окончании монтажа колонн, до установки последующих элементов, проводят *исполнительную съемку*.

Установка ригелей в проектное плановое положение осуществляется по рискам, нанесенным на опорные плоскости консолей колонн, и рискам на гранях ригелей. При этом должно соблюдаться условие равенства площадок опирания ригелей на консоли колонн.

Плановое положение подкрановых балок и рельсов определяется после окончательного закрепления основных несущих конструкций здания. Правильное положение подкрановых балок по осям в плане обеспечивается нанесением установочных рисок на опорные поверхности и контролем расстояния между осями. До их укладки в конце пролетов на полу цеха разбивают оси aa' и bb' и тщательно замеряют расстояние L между осями. Затем с помощью теодолита оси выносят на поверхность консолей колонн (рисунок 8.12)

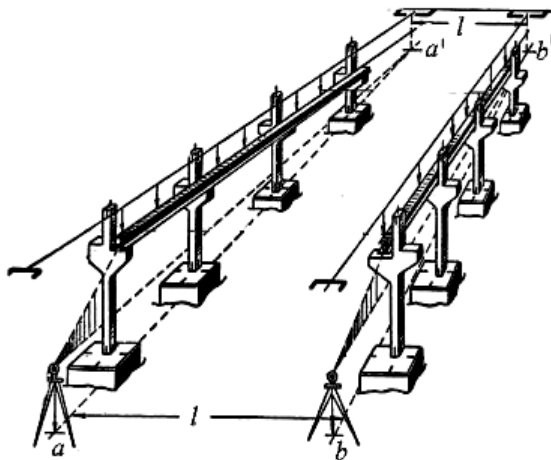


Рисунок 8.12 – Разбивка осей подкрановых балок

После разметки осей нивелируют плоскости консолей каждого ряда, служащие основанием подкрановых балок. По результатам нивелирования вычисляют отметки всех опорных поверхностей консолей колонн. Определяют наивысшую отметку и принимают ее за исходную. Под эту отметку и выравнивают в одной горизонтальной плоскости подошву подкрановых балок.

После монтажа балок, а затем и после укладки подкрановых путей выверяют их положение в плане контролем расстояний между осями путей и по высоте. Проведение плано-высотной съемки и составление

исполнительных чертежей проводят повторно после обкатки путей мостовым краном. При эксплуатации мостовых кранов ведут постоянный геодезический контроль за плановым и высотным положением подкрановых путей. В состав геодезических работ по определению фактического положения подкранового пути входят: измерение расстояния между рельсами, определение непрямолинейности, нивелирование подкрановых путей.

В настоящее время разработаны различные автоматические системы для съемки подкрановых путей. Основу этих систем составляют лазерные приборы и фотоэлектрические регистрирующие устройства. Как правило, автоматические системы устанавливаются на мостовом кране, и результаты измерений фиксируются при движении крана.

Установка технологического оборудования в проектное положение производится относительно монтажных и технологических осей. Вынос этих осей в натуру производят от разбивочных осей перенесенных внутрь строящегося сооружения. При монтаже сложного оборудования создают специальную плано-высотную сеть.

Перед монтажом под установку технологического оборудования на фундаменты выносят его проектные оси. Анкерные болты, закладные детали устанавливают со строгим соблюдением проектных размеров и высот. Перед началом монтажа оборудования на его грани, плоскости наносят установочные риски, фиксирующие геометрические оси, высоты и центры симметрии. В соответствии с требуемой точностью монтажа контроль взаимного положения монтируемых элементов в плане осуществляется шаблонами, металлическими или лазерными рулетками и теодолитами.

При геодезическом обеспечении монтажа технологического оборудования применяют различные способы и приборы.

Отличительной особенностью геодезических работ на этом этапе является применение нестандартных приборов, разрабатываемых специально для решения конкретной задачи и обеспечения высокой точности монтажа технологического оборудования.

8.6 Исполнительные съемки

Исполнительной съемкой называется комплекс геодезических работ, выполняемый на строящихся или законченных строительных объектах с целью выявления всех отклонений от проекта, определения фактического положения в плане и по высоте конструкций надземной и подземной частей сооружения и линий коммуникаций.

Выполнение каждого вида строительных и монтажных работ завершается текущей геодезической исполнительной съемкой выверенных и окончательно закрепленных конструкций и их элементов. Геодезическая

исполнительная съемка уложенных подземных коммуникаций выполняется до засыпки траншей грунтом. Различают два вида исполнительных съемок: *текущие* исполнительные съемки, необходимые для составления исполнительных чертежей по циклам и технологическим элементам строительства, и съемки *для составления исполнительного генерального плана*.

Исполнительные съемки первого вида производятся по мере завершения определенного этапа строительства, например, после отрывки котлована, устройства фундаментов, монтажа колонн и т. д. Результаты этих съемок имеют своей целью корректировку дальнейших работ для обеспечения качественного выполнения дальнейших этапов строительства.

Исполнительной съемке подлежат части сооружений и конструктивные элементы, от точности положения которых зависит качество выполнения работ на последующих этапах, а также прочность и устойчивость сооружения в целом. Эти требования и определяют поэтапный способ выполнения исполнительных съемок.

Окончательная исполнительная съемка выполняется для всего объекта в целом и используется при решении задач, связанных с его эксплуатацией, реконструкцией и расширением. При окончательной съемке используются материалы текущих съемок, а также съемок подземных и надземных коммуникаций, транспортных сетей, элементов благоустройства и вертикальной планировки.

По результатам исполнительной съемки проектная организация (авторский надзор) выдает разрешение на выполнение строительных работ на следующем этапе, а чертежи съемок предъявляют государственной комиссии при приемке сооружения в эксплуатацию.

Исходной геодезической основой для текущей исполнительной съемки служат пункты разбивочной сети, знаки закрепления осей, а также установочные риски на конструкциях. Высотной основой служат реперы, находящиеся на строительной площадке, и отметки, зафиксированные на строительных конструкциях. Геодезическим обоснованием съемки для составления исполнительного генерального плана служат пункты и реперы разбивочных и государственных сетей.

Количество и наименование конструкций и их элементов, подлежащих съемке, а также выбор методов и расчет необходимой точности измерений определяются существующими нормативными требованиями на отклонения при строительномонтажных работах.

Методы измерений при исполнительной съемке те же, что и при выполнении разбивочных и съемочных работ. Например, для определения положения строительных конструкций в плане применяют способы прямоугольных координат, линейных и створных засечек и т. д., по высоте – геометрическое нивелирование. Отклонение конструкций от вертикали

определяют с помощью отвесов, теодолитов, приборов вертикального визирования. Способы съемки исполнительного генерального плана зависят от масштаба его составления и вида снимаемого объекта. В большинстве случаев применяют теодолитную (горизонтальную) или тахеометрическую съемки.

Исполнительная геодезическая документация создается главным образом в виде исполнительных чертежей (схем). На этих чертежах указываются все проектные размеры конструкций и расстояния между осями, проектные высоты, фактические размеры конструкций, фактические отметки, направления и величины отклонений элементов конструкций от проектного положения.

При выполнении геодезической съемки планового, высотного и вертикального положения конструкций точность измерения для конкретного вида работ должна быть такой же, как и при геодезическом контроле.

Исполнительную съемку начинают с переноса осей на фундаменты. Установив теодолит над створной точкой 1 продольной оси (рисунок 8.13) или над выносной на обноске, направляют зрительную трубу на соответствующую точку на другой стороне котлована. При расположении фундаментов на створах осей трубу наводят последовательно на фундаменты, и на них отмечают створ осей (риски 4). При расположении фундаментов вне створа осей горизонтально прикладывают стальную линейку (рулетку) 3. Пятку линейки с отсчетом 0 прислоняют к фундаменту перпендикулярно створу. Горизонтальным перемещением линейки в биссектор сетки нитей трубы теодолита вводят отсчет. Величина отсчета по линейке равна проектной привязке фундамента к оси.

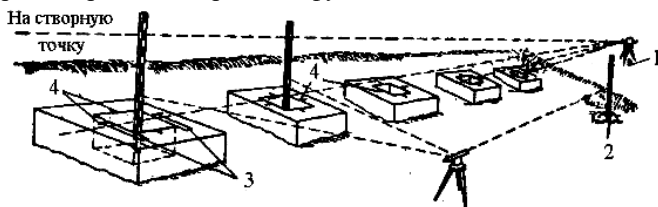


Рисунок 8.13 – Выверка положения фундамента

Установив теодолит в створе поперечной оси, таким же образом определяют положение другой пары разбивочных рисок.

Правильность установки фундамента по

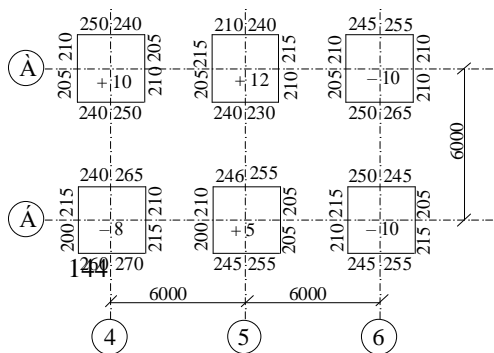


Рисунок 8.14 – Исполнительная съемка

высоте определяют нивелированием. При этом рейку устанавливают сначала на репер 2, а потом на опорную поверхность каждого фундамента (в фундаментах стаканного типа такой поверхностью является дно). Вычисленные в результате нивелирования отметки сравнивают с проектными и, таким образом, определяют величину отклонения фундамента по высоте.

На рисунке 8.14 приведен пример оформления исполнительной съемки фундаментов стаканного типа под монтаж колонн. Численными значениями обозначены расстояния от осей до стенки стаканов в их нижнем сечении (в миллиметрах). Отклонения по высоте показывают следующим образом: +10 – завьшение; -5 – занижение в миллиметрах от проектного положения дна стакана. Между осями указано проектное расстояние. При устройстве фундаментов на свайном основании исполнительная съемка выполняется таким же способом. Сначала с помощью теодолита выносят оси на оголовки свай по цифровым и буквенным осям, а затем определяют величину смещения центра свай от фактического положения. Полученные данные отражают на исполнительной съемке (рисунк 8.15).

Стрелками показано направление смещения оголовка сваи от проектного положения. Цифры над стрелками указывают величину смещения от проектного положения в миллиметрах.

На рисунке 8.16 показан пример оформления исполнительной съемки монолитных фундаментов. Цифры со знаком плюс или минус показывают величину отклонения отметок верха фундамента от проектных отметок (плюс – завьшение по сравнению с проектной, минус – занижение). Цифры без знаков указывают на величину расстояния от оси фундамента до его края.

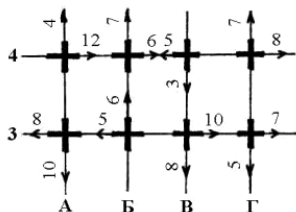


Рисунок 8.15 – Исполнительная

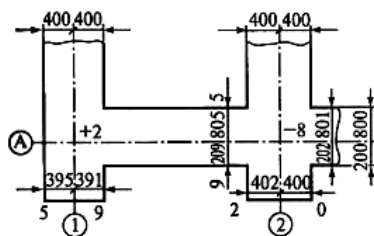


Рисунок 8.16 – Исполнительная
съемка фундамента

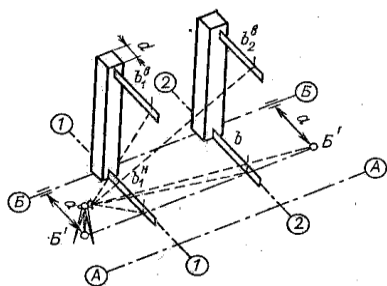


Рисунок 8.17 – Определение
отклонения колонн

При плановой исполнительной съемке колонн отклонения осей колонн определяют методом бокового нивелирования, сущность которого заключается в следующем (рисунк 8.17).

От рисок закрепления продольной разбивочной оси А-А откладывают перпендикулярно оси равные отрезки длиной a и получают линию, параллельную продольной оси сооружения. В одной из точек этой линии устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение и наводят визирную ось на точку, лежащую на этой же линии. При съемке рейку или рулетку устанавливают горизонтально в нижнем и верхнем сечениях колонн, а в *поле зрения трубы берут отсчеты b по вертикальной нити*. Из рисунка 8.17 видно, что отклонение центра колонны от разбивочной оси А-А в нижнем сечении по оси 1-1

$$\Delta = a - a_n - 0,5d,$$

где a_n – отсчет по рейке на оси 1-1 в нижнем сечении;

d – толщина колонны.

Отклонение в верхнем сечении определяют аналогично по отсчету a_v .

Для контроля правильности выполнения съемки измеряют расстояния между колоннами и сравнивают их с аналогичными расстояниями, полученными по результатам съемки. После выполнения измерений составляют схему исполнительной съемки, на которой показывают оси сооружения, колонны и их отклонения в верхнем и нижнем сечениях от осей.

Очень часто приходится выполнять исполнительную съемку подкрановых путей. Нормальная эксплуатация мостовых кранов существенно зависит от соблюдения технических требований, предъявляемых к геометрии подкрановых путей. Вот некоторые из них: обе нитки рельсов должны быть параллельны, прямолинейны, лежать в одной горизонтальной плоскости, находиться на расстоянии друг от друга, соответствующем длине пролета мостового крана.

Сравнительно высокое расположение подкрановых путей над уровнем пола определяет особенности выполнения исполнительной съемки. В зависимости от условий производства работ возможны различные варианты выполнения исполнительной съемки. Рассмотрим один из вариантов съемки планового положения подкранового пути (рисунок 8.18).

На полу создают съемочное обоснование в виде прямоугольника. Для этого от оси колонн откладывают расстояние a в начале и в конце подкранового пути. Затем от полученного створа с помощью теодолита и рулетки строят прямоугольник, у которого длина равна длине подкранового пути, а ширина:

$$L = L_{\text{пр}} - 2a,$$

где $L_{\text{пр}}$ – расстояние, равное длине пролета мостового крана.

Затем, устанавливая последовательно теодолит на стороны базиса, отстоящие на расстоянии a от оси колонн, определяют способом бокового нивелирования смещение рельсов. А по разности смещений в одноименных точках вычисляют фактическую ширину колеи подкранового пути.

Для определения высотного положения рельсов применяют геометрическое или тригонометрическое нивелирование. При геометрическом нивелировании нивелир устанавливают на кране или на подкрановой балке (если позволяет ее ширина). Для безопасного проведения работ нивелир можно устанавливать на полу. В этом случае измерения выполняют по рейке с горизонтально прикрепленным к ней бруском, укладываемым на головку рельса. Тригонометрическое нивелирование применяют в том случае, когда невозможно установить рейку на головку рельса.

После выполнения всех измерений и необходимых вычислений составляют схему исполнительной съемки (рисунок 8.19). На съемке приведены следующие данные: (22500) – ширина колеи подкранового пути по паспортным данным; 22490 – фактический размер ширины колеи; +9 – отклонение головки рельса по высоте.

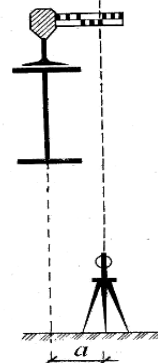
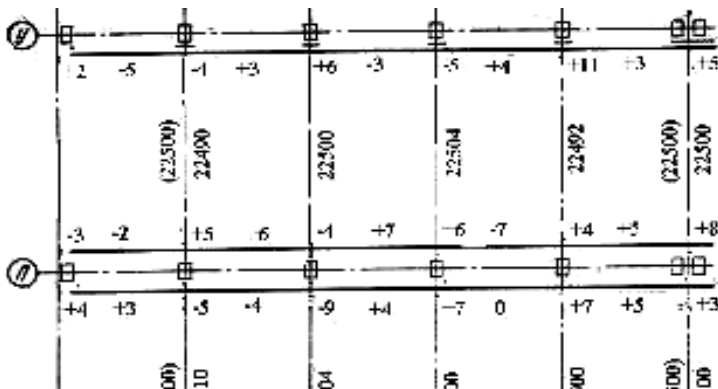


Рисунок 8.18 – Съемка подкранового пути



Отклонение отметок
подкрановых рельсов в мм

Рисунок 8.19 – Исполнительная съемка подкранового пути

Перечень исполнительной документации на строительном объекте устанавливается в соответствии с требованиями стандартов и другой нормативно-технической документации. В особых случаях перечень исполнительной документации по требованию контролирующих организаций может уточняться.

По результатам исполнительных съемок законченных сооружений (промышленное предприятие, жилой комплекс и т. д.) составляют **исполнительный генеральный план**. Различают *оперативный, дежурный и окончательный* генеральные планы. Строительство крупных объектов, как правило, продолжается несколько лет. В этих условиях возникает необходимость регулярно снабжать геодезическими данными производителей работ. Для этого ведется дежурный генеральный план, для того чтобы иметь информацию об объемах строительных работ, выполняемых на определенную дату.

После завершения строительства составляют окончательный исполнительный генеральный план. На нем наносят все построенные сооружения, которые сдают в эксплуатацию. План составляют на основании материалов исполнительных съемок, выполненных по мере возведения объектов.

Комплект окончательного исполнительного генерального плана состоит из сводного генерального плана в масштабах 1:1000 – 1:2000, исполнительных планов дорог, линий электропередач, подземных коммуникаций и т. д.

9 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

9.1 Общие сведения

Под влиянием силы тяжести сооружения, изменения влажности основания и температуры происходит перемещение частиц грунта, на которые здание опирается. Вследствие этого получают перемещения конструкций фундаментов и надземной части здания. Кроме того, деформацию зданий могут также вызвать ветровые нагрузки, солнечная радиация, вибрация при работе оборудования, сейсмические воздействия и другие явления.

Перемещения сооружения и его конструкций могут быть горизонтальные и вертикальные. Вертикальные перемещения называют **осадкой**, а горизонтальные – **сдвигом** (смещением). Пространственное смещение сооружений вызывает его деформацию в виде прогибов, перекосов, образования трещин и крена. Если эти явления не будут своевременно обнаружены и устранены, то может возникнуть опасность разрушения сооружения.

Поэтому в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений проводится целый комплекс натуральных геодезических наблюдений, позволяющих следить и определять элементы деформаций всего сооружения и его отдельных конструкций. Рассмотрим основные геодезические методы наблюдений за осадками и смещениями сооружений и их конструкций.

9.2 Наблюдения за осадками сооружений

Для проведения наблюдений за осадками в конструкции сооружений закладывают осадочные марки и периодически определяют их отметки. **Основным способом определения осадок сооружений является высокоточное геометрическое нивелирование.**

С этой целью вокруг сооружения, вне зоны возможных деформаций грунтов, создается сеть из 3-4 глубинных реперов. Для промышленных и гражданских сооружений опорные реперы закладываются не ближе 80 м от здания.

Определение величины осадок состоит в измерении превышений между опорными реперами и осадочными марками через определенные промежутки времени (цикла). По измеренным и уравненным превышениям вычисляют отметки осадочных марок в данном цикле. Разности высот одной и той же осадочной марки в смежных циклах наблюдений характеризуют величину

осадки марки и соответствующей части сооружения. По результатам наблюдений составляют график хода осадок.

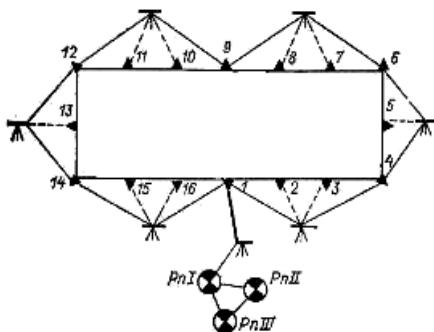


Рисунок 8.20 – Схема нивелирования осадочных марок

Места установки осадочных марок для типовых промышленных и гражданских зданий выбирают по периметру сооружения в среднем через 10 м и по обе стороны осадочных швов здания. Образец размещения осадочных марок и реперов приведен на рисунке 8.20.

При наблюдениях за осадками строящихся зданий циклы совмещают с завершением этапов строительства, например этажа. Таким образом, циклы оказываются связанными с этапами увеличения

нагрузки на основание. После завершения строительства сроки наблюдений устанавливают с учетом величины и скорости осадок, обычно 2–3 раза в год до полной стабилизации осадок.

Методика нивелирования осадочных марок имеет ряд особенностей: длина визирного луча не должна превышать 10–20 м, равенство плеч выдерживается с большой точностью, нивелирование выполняется в каждом цикле по одинаковой схеме и постоянно закрепленным осадочным маркам. Для определения осадок в труднодоступных точках сооружений применяют *тригонометрическое нивелирование* с использованием высокоточных теодолитов, обеспечивающих точность измерения вертикальных углов с ошибкой не более 1".

Для систематических наблюдений за осадками крупных промышленных зданий и гидротехнических сооружений применяют *гидростатическое нивелирование*. Определение осадок для большинства сооружений обычно выполняют с погрешностью 1–2 мм, что обеспечивается измерением превышений по программе нивелирования II класса.

9.3 Измерение горизонтальных смещений

Инженерные сооружения в процессе их возведения и даже в период эксплуатации под воздействием различных сил претерпевают горизонтальные смещения. Геодезические методы дают возможность довольно точно обнаружить эти смещения и определить их числовые характеристики.

Геодезические работы по измерению горизонтальных смещений сооружений выполняют в такой последовательности:

- разработка программы наблюдений, где указывается метод наблюдений и соответствующие ему приборы;

- размещение опорных и контрольных пунктов наблюдений;
- организация наблюдений и обработка полученных результатов.

Наиболее существенной частью этих работ является выбор и закрепление опорных пунктов наблюдений. Они должны располагаться вне зоны возможных смещений на устойчивых грунтах. Опорные знаки должны быть снабжены центрировочным устройством для установки геодезического инструмента.

Наблюдения за смещениями конструкций осуществляют циклами. Нулевой цикл выполняют до появления горизонтальных нагрузок на конструкции. Последующие циклы совмещают по времени с ожидаемым появлением горизонтальных смещений, а после ввода сооружения в эксплуатацию – не реже двух раз в год до полной стабилизации сооружения. Для определения горизонтальных смещений наиболее широко используют следующие методы наблюдений.

Створный метод. Этот метод чаще всего применяют для определения деформации сооружений прямолинейной формы, когда достаточно знать смещение по одному направлению. Он заключается в измерении смещения контрольного знака со створа опорной линии, обычно совпадающей с осью сооружения или параллельной ей. На опорной линии, вне зоны подвижек грунтов, закладывают опорные знаки *A* и *B* и периодически (циклами) определяют отклонения d_1, d_2, d_3 деформационных марок 1, 2 и 3 закрепленных на сооружении, от

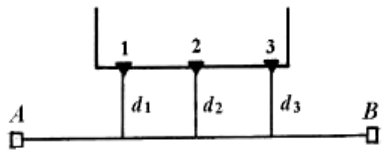


Рисунок 8.21 – Створный метод

створа *AB* (рисунок 8.21). Для повышения точности измерений линию створа размещают на небольшом удалении от сооружения (0,3–0,6 м).

Для определения величины отклонений деформационных марок от створа над опорным знаком *A* устанавливают теодолит. Его приводят в рабочее положение, наводят пересечение сетки нитей на визирную марку, расположенную над опорным знаком *B*, и последовательно, как при боковом нивелировании, берут отсчеты d_1', d_2', d_3' по измерительной линейке. Эти измерения будут составлять первый полуприем.

Во втором полуприеме теодолит устанавливают над опорным знаком *B*, визируют на марку над точкой *A* и берут отсчеты d_1'', d_2'', d_3'' по измерительным линейкам на деформационных марках. По полученным отсчетам вычисляют средние значения:

$$d_1 = 0,5(d_1' + d_1''); \quad d_2 = 0,5(d_2' + d_2''); \quad d_3 = 0,5(d_3' + d_3'').$$

Аналогичные измерения выполняют и в следующих циклах. Результаты измерений заносят в ведомость вычисления горизонтальных смещений, в

которой указывают номер цикла, время его проведения, отсчеты по линейке на каждой марке и величину смещения. Горизонтальные смещения Δ деформационных марок вычисляют как разность измерений в нулевом и последующем циклах.

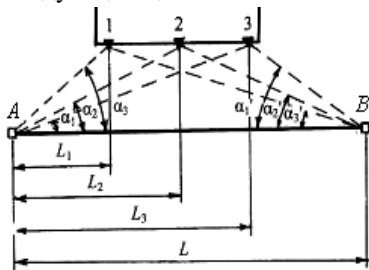


Рисунок 8.22 – Измерение малых углов

Эта же задача может быть решена с помощью измерения малых углов.

В этом способе теодолитом с опорных точек A и B измеряют малые параллактические углы $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и $\alpha_1', \alpha_2', \alpha_3'$ между линией створа и направлением на точки 1, 2, 3, расстояния L_1, L_2, L_3 и L (рисунок 8.22). Отклонение каждой i -й марки определяют по формуле

$$d_i = L_i \operatorname{tg} \alpha_i = L_i \alpha_i / \rho.$$

Способ створных наблюдений довольно прост, дает достаточно точные результаты, но имеет ряд недостатков:

- горизонтальные смещения определяют только по оси, перпендикулярной к створу AB ;
- полученные данные могут не обладать высокой степенью надежности, так как расположение точек A и B вблизи от сооружения не дает полной уверенности в том, что они были неподвижны за время наблюдений.

Метод триангуляции. В этом методе в отличие от предыдущего опорные точки A и B закладывают в устойчивом грунте на значительном удалении от исследуемого сооружения. На самом сооружении, например дамбе, закладывают точки наблюдения I, II, III и периодически (циклами) определяют их координаты методом триангуляции. Для этого с высокой точностью определяют длину базиса AB и измеряют все углы во всех треугольниках (рисунок 8.23).

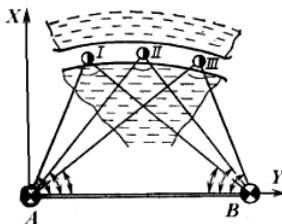


Рисунок 8.23 – Метод триангуляции

В результате обработки данных, полученных в каждом из циклов, определяют координаты точек наблюдения $x_1, y_1, x_{II}, y_{II}, x_{III}, y_{III}$. Смещения наблюдаемых точек по направлениям осей x и y вычисляют, как разность соответствующих координат между циклами наблюдений.

Абсолютную величину смещения получают как диагональ прямоугольника

со сторонами Δx и Δy :

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

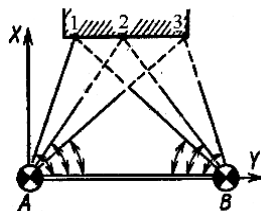


Рисунок 8.24 – Способ направлений

В том случае, если на наблюдаемых точках установить теодолит невозможно, применяют способ направлений. При этом способе углы измеряют только на опорных точках A и B , а координаты пунктов 1–3 определяют как в угловых засечках (рисунок 8.24). Треугольник, полученный в результате засечек, может быть решен по двум измеренным углам и одной стороне.

9.4 Наблюдения за креном сооружения

Креном называется отклонение сооружения от проектного положения в вертикальной плоскости. Крен – это вид деформации свойственный в основном сооружениям башенного типа. Причиной крена могут быть неравномерная осадка сооружения в целом, изгиб и наклон верхней части его из-за одностороннего температурного нагрева, ветрового воздействия и т. д.

Наблюдения за кренами высотных сооружений могут быть систематическими и разовыми. Целью *разовых* наблюдений является определение только линейной составляющей крена на момент наблюдения, которая используется для оценки состояния сооружения и составления заключения о возможности его эксплуатации. Разовые наблюдения проводят по свободной схеме с наиболее удобных на момент измерения точек. Установку визирных марок на оси сооружения при этом не производят. Целью систематических наблюдений является определение величины крена и его изменения во времени. При организации систематических наблюдений крена точки установки инструмента, закрепляют на местности долговременно центрами различной конструкции и фиксируют, по крайней мере, двумя визирными марками ось сооружения для наблюдения за ней с каждой точки установки инструмента.

В геометрическом плане сущность измерения крена сводится к определению взаимного положения двух точек A и B сооружения, которые по условиям проектного решения должны лежать на одной отвесной линии.

Крен характеризуется двумя величинами: углом γ между вертикальным направлением и наклонным (фактическим) AB и горизонтальной проекцией наклонной линии сооружения b на горизонтальную плоскость.

Для определения величины крена применяют следующие способы.

Способ вертикального проектирования. При этом способе возможны следующие варианты. Наиболее просто определить величину крена построением вертикали с помощью механического отвеса (рисунок 8.25). В этом случае нить отвеса совмещают с осью сооружения в его верхнем сечении. В нижнем сечении по линейке с миллиметровыми делениями измеряют отклонение b точки отвеса от оси сооружения в его нижнем сечении. Угловая величина крена

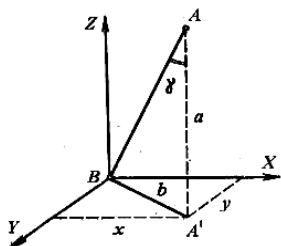


Рисунок 8.25 – Определение крена

$$\gamma = \arctg (b / a).$$

Точность измерения крена в этом случае невелика и зависит от отклонения отвеса от вертикали под влиянием движения воздуха.

В сложных условиях, особенно для сооружений большой высоты, для определения величины крена с более высокой точностью применяют приборы вертикального визирования (ПВП). Для этого над осью сооружения в нижнем сечении устанавливают прибор, а в верхнем сечении определяют величину смещения. В том случае, если прибор нельзя установить внутри сооружения, поступают следующим образом (рисунок 8.26). По направлению одной из осей откладывают небольшой отрезок a , и над полученной точкой A устанавливают прибор вертикального визирования. В верхнем сечении устанавливают горизонтально рейку и берут по ней отсчет b . Отклонение определяют следующим образом:

$$\Delta = (R_H + a) - (R_B + b).$$

При определении величины крена с помощью теодолита инструмент последовательно устанавливают на каждой из осей x и y (рисунок 8.27). Точку B проектируют при двух положениях

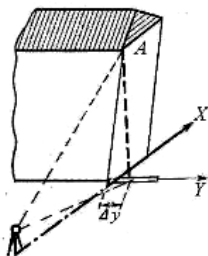


Рисунок 8.27 – Определение крена с помощью теодолита

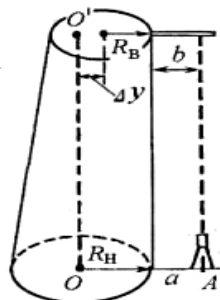


Рисунок 8.26 – Определение крена с помощью ПВП

вертикального круга на миллиметровую линейку, располагаемую поочередно в направлениях створов перпендикулярно оси визирования.

По полученным отклонениям Δx и Δy определяют линейную Δ и угловую α величину крена:

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad \alpha = \arctg (\Delta y / \Delta x).$$

Способ координат. При этом способе вокруг сооружения на расстоянии, равном одной-двум его высотам, закладывают не менее трех опорных пунктов A , B и C и определяют в условной системе их координаты (рисунок 8.28).

С этих пунктов через определенные промежутки времени прямой засечкой определяют координаты оси сооружения в его нижнем и верхнем сечениях.

Вычисляют по формулам прямой угловой засечки координаты оси сооружения для нижнего и верхнего сечений. При засечках для определения направления на ось сооружения производят отсчеты по левой и правой наружным граням, а за окончательное значение принимают среднее арифметическое.

По разностям координат в двух циклах наблюдений находят составляющие крена Δx и Δy по осям координат и определяют линейную Δ и угловую α величины крена.

Точность определения линейного элемента крена при систематических наблюдениях характеризуется величиной средней квадратической погрешности порядка 6–10 мм при высоте сооружения 100 м и использовании теодолита Т2.

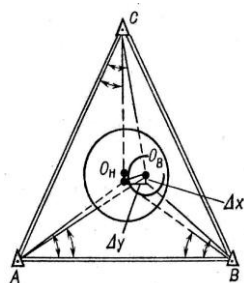


Рисунок 8.28 – Способ координат

10 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

10.1 Восстановление трассы

Между проектированием и строительством дороги проходит определенный, иногда значительный промежуток времени, за который точки закрепления трассы на местности, выполненные при полевом трассировании, утрачиваются. Поэтому перед началом строительных работ трассу восстанавливают, принимая за основную окончательно выбранную и закрепленную при полевом трассировании. При этом руководствуются документами рабочего проекта: планом и профилем трассы, ведомостью прямых и кривых, схемой закрепления трассы. Эта задача решается в подготовительный период строительства.

Трасса дороги, вынесенная на местность и надежно закрепленная на ней типовыми знаками, является геодезической основой для разбивки осей всех сооружений, разбивочных и контрольных геодезических работ в процессе строительства.

Геодезические работы при сооружении транспортных объектов должны обеспечивать разбивку и контроль в процессе строительства в соответствии с рабочими чертежами и требованиями соответствующих инструкций и включать в себя:

- восстановление и закрепление осей сооружений;
- установку временных реперов и определение проектных отметок сооружений;
- детальную разбивку контуров и элементов сооружений;

- рабочие разбивки и надзор в процессе строительства, контроль за работой машин, связанных с геодезическими измерениями;
- контрольные промеры в процессе строительства;
- промежуточные и окончательные замеры объемов выполненных работ, составление сдаточных ведомостей и актов;
- ведение исполнительной документации;
- геодезический контроль за сооружением с целью выявления осадок, смещений и других деформаций в процессе и после окончания строительства.

Восстановление трассы начинают с отыскания на местности вершин углов поворота трассы. Те вершины, на которых не сохранились знаки закрепления, находят промерами от постоянных местных предметов согласно абрисам их привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы. В том случае, если знаки не сохранились на нескольких расположенных рядом углах поворота и их невозможно восстановить от местных предметов, то вновь выполняют трассирование этого участка, придерживаясь углов поворота и расстояний, взятых с проекта.

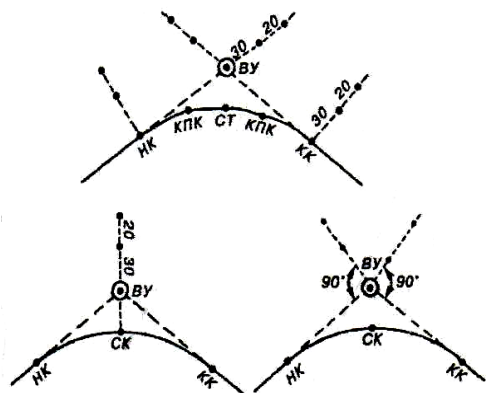


Рисунок 10.1 – Закрепление углов поворота трассы

Восстановленные на местности вершины углов поворота трассы закрепляют деревянными столбами, устанавливаемыми по два на продолжении тангенсов или под углами 90° к ним (рисунок 10.1). На кривых закрепляются выносными столбами начало, середина, конец кривой и точки сопряжения круговой и переходной кривых.

В равнинных районах вершина угла поворота может быть закреплена с внешней стороны двумя столбами на биссектрисе угла. Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными. При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривой.

При восстановлении трассы может быть проведена некоторая ее корректировка и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и улучшения эксплуатационных характеристик. Так,

могут быть спрямлены некоторые участки, найден более удачный переход или обход мест, не устойчивых в геологическом отношении, несколько изменены радиусы кривых и уклоны продольного профиля и т. д.

Все изменения, внесенные в проект при восстановлении трассы, передаются в проектную организацию для согласования. Затем приступают к разбивке пикетажа. На закруглениях трассы выполняют детальную разбивку переходных и круговых кривых. При радиусе более 500 м кривую разбивают через 20 м, при радиусе менее 500 м – через 10 м, при радиусе менее 100 м – через 5 м.

Наиболее часто применяют следующие **способы** **детальной разбивки кривых**: способ прямоугольных координат, способ углов и хорд, способ продолженных хорд.

Способ прямоугольных координат. В этом способе положение точек на кривой через заданный интервал дуги k определяется прямоугольными координатами $x_1, y_1; x_2, y_2$ и т. д. (рисунок 10.2). Линию тангенса принимают за ось абсцисс с началом в точке НК или КК (разбивку ведут симметрично от начала и конца кривой к вершине угла)

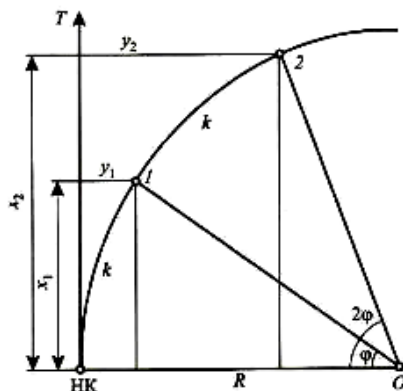


Рисунок 10.2 – Способ прямоугольных координат

Координаты точек 1, 2 и т. д. кривой вычисляют, как это видно из рисунка 10.2, по формулам

$$x = R \sin \varphi; \quad (10.1)$$

$$y = R (1 - \cos \varphi). \quad (10.2)$$

При заданном радиусе R дуге k будет соответствовать центральный угол

$$\varphi = k 180^\circ / \pi R.$$

По данным формулам составлены таблицы (таблица 5 [3]), в которых по аргументам R и φ вычислены значения координат x и y . Для совместной детальной разбивки переходных и круговых кривых данные берут из [3]. Последовательность разбивки следующая: вдоль тангенса откладывают по направлению к вершине угла поворота длины кривых k , соответствующие интервалу разбивки, отмеряя назад значения $k - x$. В найденных точках восстанавливают перпендикуляры и откладывают ординаты y , тем самым определяя точки кривой.

Способ прямоугольных координат является наиболее распространенным способом детальной разбивки кривых. Преимущество этого способа состоит в том, что каждая точка строится независимо от предыдущих, что исключает накопление погрешностей. Но быстрое возрастание от точки к точке длин ординат делает невозможным использование этого способа в стесненных условиях, туннелях, лесистой местности, по насыпи.

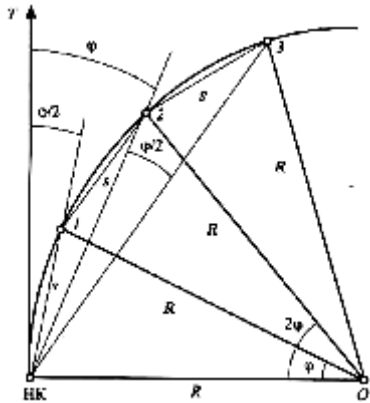


Рисунок 10.3 – Способ углов и хорд

В этих случаях применяют способ углов и хорд. Кривую в этом способе разбивают через заданный интервал S по хорде. При разбивке данным способом длина хорды S не должна превышать длину мерного прибора (обычно принимают $S = 20$ м). Затем вычисляют центральный угол φ , опирающийся на хорду (рисунок 10.3):

$$\sin \varphi / 2 = S / 2R. \quad (10.3)$$

Далее, установив теодолит в начале кривой, наводят зрительную трубу по направлению тангенса на вершину угла поворота и откладывают значение первого разбивочного угла $\varphi/2$. Вдоль полученного направления откладывают длину хорды S , получая первую точку на кривой. Далее теодолитом откладывают угол φ и получают положение точки 2 линейно-угловой засечкой, откладывая каждый раз от предыдущей точки кривой длину хорды S . Следует отметить, что в этом способе погрешности построения последующих точек содержат погрешности предыдущих.

Способ продолженных хорд. Задавшись интервалом S детальной разбивки кривой радиуса R , вычисляют угол по формуле (10.3) и, пользуясь выражениями (10.1) и (10.2), разбивают точку 1 кривой способом прямоугольных координат (рисунок 10.4).

Затем по продолжению

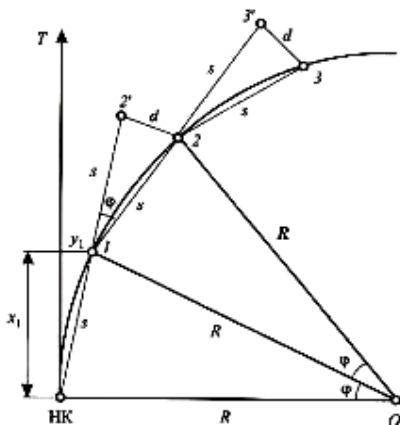


Рисунок 10.4 – Способ продолженных хорд

первой хорды откладывают отрезок S и закрепляют полученную точку $2'$. Удерживая задний конец рулетки в точке 1, определяют положение точки 2 линейной засечкой радиусами S и d . Вновь откладывают отрезок S , но уже от точки 2, и вдоль направления второй хорды. Из точек 2 и $3'$ на пересечении дуг радиусов S и d получают положение точки 3 и т. д.

Величина отрезка d , называемого промежуточным перемещением, постоянна для всех точек кривой и определяется по формуле

$$d = S^2 / R.$$

Способ продолженных хорд удобен тем, что все сопутствующие ему измерения выполняются в непосредственной близости от кривой. Это позволяет использовать его в стесненных условиях, там, где другие способы применить невозможно. Кроме того выполнение разбивки не требует специальных инструментов – ее производят при помощи рулеток.

Недостатком этого способа состоит в быстром накоплении погрешностей разбивки, по мере увеличения числа разбиваемых точек.

После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Так как ось трассы дороги является геодезической основой для разбивки всех сооружений ее закрепление должно быть надежным. Знаки закрепления устанавливают вне зоны земляных работ так, чтобы они сохранялись на все время строительства.

Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4-5 пикетов трассы приходился один репер. Кроме того, необходимо устанавливать по одному реперу у каждого малого и по два у средних и больших мостов, на станционной площадке и у всех насыпей и выемок с рабочими отметками более 5 м.

В качестве реперов можно использовать различные местные предметы, устойчивые по высоте и установленные ниже глубины промерзания. Реперы искусственного сооружения должны быть пронумерованы и зарегистрированы в ведомости реперов с указанием их отметок, описания вида и местоположения.

10.2 Разбивка земляного полотна

Для выполнения земляных работ кроме восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых производят детальную разбивку земляного полотна или, как говорят, разбивку строительных поперечников. Эта разбивка состоит в обозначении на местности в плане и по высоте всех характерных точек поперечного профиля земляного полотна: оси, бровок, подошвы насыпей, кюветов и т. д.

На прямолинейных участках трассы поперечники разбивают через 20 – 40 м и на всех переломах продольного профиля. Для этого при помощи

теодолита и рулетки разбивают плюсовые точки между пикетами, например +20, +40, +60, +80 м. Сами же поперечники разбивают вправо и влево от этих точек, перпендикулярно к оси трассы.

На закруглениях трассы поперечник разбивают через 10–20 м в зависимости от радиуса кривой. На этих участках поперечники должны располагаться по направлению к центру кривой, то есть перпендикулярно касательной к кривой в точке разбивки поперечника. При разбивке поперечников на кривой их располагают через равные отрезки. Для задания направления поперечника в осевой точке кривой измеряют угол между хордами, соединяющими эту точку с двумя соседними. Затем делят угол пополам и строят на местности его биссектрису. Направление биссектрисы и будет совпадать с направлением радиуса кривой, вдоль которого от осевой точки и разбивают поперечник.

Одновременно с разбивкой поперечников выносят в натуру проектные отметки соответствующие отметке бровке дорожного полотна в законченном виде. Рассмотрим **особенности разбивки поперечников в насыпи и в выемке**.

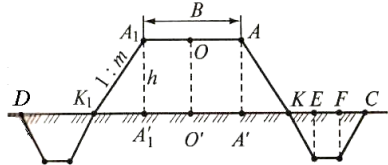


Рисунок 10.5 – Разбивка поперечника в насыпи

рулеткой откладывают отрезки $B/2$ (B – ширина насыпи по верху) до бровок A_1 и A' и отрезки h x m до подошвы точек K , K_1 . Здесь h высота насыпи, $1:m$ – крутизна (уклон) откоса. Суммарные расстояния от оси до подошвы насыпи одинаковы:

$$O'K_1 = O'K = B/2 + hm.$$

На косогорных участках разбивка насыпи несколько усложняется. Вследствие поперечного наклона местности на угол ν (рисунок 10.6) расстояние от оси O' до подошвы насыпи K и K_1 будут различны. Положение точек K и K_1 может быть найдено, если отложить по наклонной местности отрезки $O'K$ и $O'K_1$. Если обозначить угол откоса через β , то по теореме синусов будем иметь

$$O'K = (B/2 + hm) \sin \beta / \sin (\beta + \nu);$$

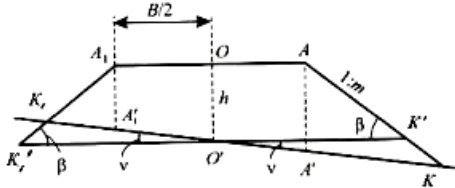


Рисунок 10.6 – Разбивка поперечника в насыпи на косогоре

$$O'K_1 = (B/2 + hm) \sin \beta / \sin (\beta + \nu).$$

Чтобы получить на наклонной местности проекции бровок A' и A'_1 , необходимо от осевой точки O' отложить расстояния

$$O'A' = O'A'_1 = (B/2) / \cos \nu.$$

Разбивка поперечников в выемке.
При разбивке поперечников в выемке на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы O' (рисунок 10.7). От осевой точки трассы откладывают отрезки

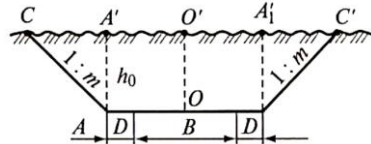


Рисунок 10.7 – Разбивка поперечника в выемке

$$O'A' = O'A'_1 = B/2 + D,$$

где D – ширина кювета поверху, и отрезки

$$O'C = O'C' = B/2 + D + h_0m,$$

где h_0 – глубина выемки.

На косогорах расстояние от оси до границы выемки будет меньшим в сторону понижения ската и большим в нагорную сторону.

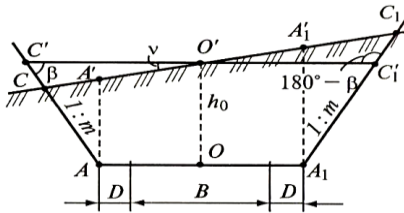


Рисунок 10.8 – Разбивка поперечника на косогоре в выемке

Наклонные расстояния от оси до бровок выемки могут быть определены (рисунок 10.8) по следующим формулам:

$$O'C = (B/2 + D + h_0m) \sin \beta / \sin (\beta + \nu);$$

$$O'C_1 = (B/2 + D + h_0m) \sin \beta / \sin (\beta - \nu).$$

По мере разработки грунта механизмами повторяют разбивку осевых точек A и A_1 и указывают оставшуюся глубину выемки. Когда выемка в основном закончена и осталось добрать до проектной отметки 10–20 см, для чистовой отделки намечают точки, которые определяют положение кюветов, корыта и обочин (или сливной призмы) и при помощи нивелира эти точки устанавливают на уровень проектных отметок. Проектные отметки характерных точек поперечного профиля земляного полотна вычисляют от проектной отметки бровки по проектным уклонам и ширине отдельных частей дороги.

Проектные отметки земляного полотна выносятся в натуру с погрешностью не более 1 см.

10.3 Разбивка сопряжений уклонов продольного профиля

При строительстве железных и автомобильных дорог предусматривается вставка вертикальных кривых. Кривые в вертикальной плоскости разби-

вают для смягчения переломов продольного профиля дороги и достижения плавности и безопасности движения транспорта.

Сопряжение линий при переломе профиля производят **вертикальными кривыми** (рисунок 10.9). Вертикальные кривые – это выпуклые или вогнутые круговые кривые больших радиусов.

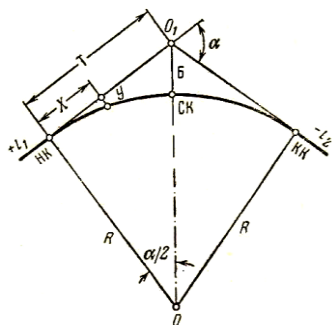


Рисунок 10.9 – Вертикальная кривая

Вертикальные кривые разбирают по тем же элементам, что и горизонтальные круговые кривые, т.е. по радиусу R кривой, вертикальному углу поворота α , длине кривой K , тангенсу T , биссектрисе B и прямоугольным координатам x и y (для детальной разбивки).

Угол α , выраженный в радианах, принимают ввиду его малой величины равным разности абсолютных значений уклонов i_1, i_2 :

$$\alpha = i_1 - i_2 = \Delta i.$$

Отсюда следует:

$$T = R \operatorname{tg} \Delta i^2 = R (i_1 - i_2)/2; \quad K = 2T; \quad B = T^2/2R.$$

Детальную разбивку вертикальных кривых выполняют по способу прямоугольных координат, задаваясь значениями абсцисс x и вычисляя соответствующие ординаты y по приближенной формуле

$$y = x^2 / 2R.$$

Абсциссу x определяют как расстояние по пикетажу от начала кривой до определяемой точки. Ординату y практически с допустимой погрешностью считают направленной вертикально и вводят как поправку в проектную отметку определяемой точки со знаком минус в случае выпуклой кривой и со знаком плюс – в случае вогнутой.

Для разбивки вертикальных кривых имеются специальные таблицы [3]. Пользуясь выбранными из таблиц величинами T и B , разбирают три главные точки кривой НК, СК и КК, а затем, пользуясь величинами x и y , разбирают кривую детально.

10.4 Геодезические работы

при устройстве верхнего строения дороги

После возведения земляного полотна перед устройством автодорожного покрытия или верхнего строения пути еще раз производят разбивку поперечников.

Покрытие на автомобильных дорогах устраивается в подготовленном для этого земляном корыте и состоит из песчаной или гравийной подушки, бетонного или каменного несущего слоя и верхнего асфальтового слоя. После того как песчаная подушка уложена в земляное корыто и уплотнена, при помощи теодолита производят разбивку оси дороги и кромки проезжей части, особое внимание уделяя тщательности разбивки криволинейных участков дороги. Одновременно с плановой разбивкой с помощью нивелира выносят проектные отметки верха покрытия или несущего слоя.

Поперечники разбивают на всех пикетах, переломах продольного профиля через 20 м на прямолинейных участках и через 10 м – на закруглениях.

Верхнее строение железных дорог состоит из балластной призмы, шпал, рельсов, стрелочных переводов. При разбивке элементов верхнего строения пути приходится неоднократно восстанавливать ось пути. Поэтому желательно по обочине полотна или на междупутье разбить параллельную ось и закрепить ее. При укладке или окончательной рихтовке железнодорожных путей ось каждого пути разбивается строго по теодолиту. На закруглениях полотна восстанавливают детальную разбивку кривых, размечая ось трассы через каждые 20 или 10 м, если радиус кривой менее 500 м. Наиболее целесообразно эту разбивку проводить *способом хорд*. Этот способ удобен в стесненных условиях насыпей и выемок и обеспечивает высокую точность разбивки. При помощи нивелира выносят в натуру проектные отметки головки рельсов с точностью до 1–2 мм.

Примыкания, как и любые соединения железнодорожных путей, осуществляются при помощи стрелочных переводов, которые, как правило, устраивают на прямых участках пути.

Пересечение осей двух соединяющихся путей называется *центром стрелочного перевода* (ЦСП) (рисунок 10.10). Угол α между рабочими гранями крестовины называется *углом крестовины*. Стрелочные переводы классифицируют по марке крестовины и обозначают дробью $1/N$.

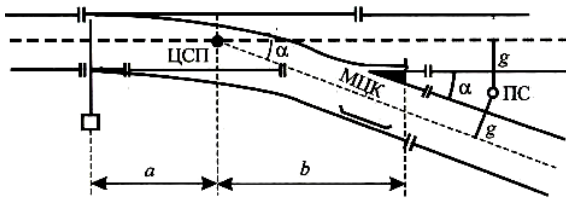


Рисунок 10.10 – Схема стрелочного перевода

$$1/N = 2 \operatorname{tg} \alpha/2 \approx \operatorname{tg} \alpha$$

Расстояния a до центра стрелочного перевода и b до конца крестовины, а также другие размеры, стандартны для каждого типа стрелочного перевода. Поэтому, если известно положение центра стрелочного перевода на оси пути, относительно его можно разбить все части перевода. То есть для того чтобы выполнить разбивку стрелочного перевода на местности, необходимо зафиксировать положение его центра. При разбивке различают два основных случая:

- *соединение параллельных путей* (рисунок 10.11). В этом случае от ближайшего элемента пути находят положение ЦСП1 с точностью до 10 см, а затем по известной величине междупутного расстояния вычисляют и откладывают рулеткой расстояние $x = l : N$ до ЦСП2 с точностью до 1 см;

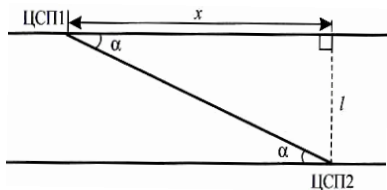


Рисунок 10.11 – Соединение путей

- *примыкание непараллельных путей* (рисунок 10.12). Для разбивки примыкания прокладываемого пути CL к существующему AK находят точку B пересечения осей путей и измеряют угол примыкания β . Стрелочный перевод отклоняет путь на постоянный угол α , и для того чтобы соединить пути CL и BK , надо разместить центр стрелочного перевода не в вершине угла примыкания B , а в некоторой точке A .

Расстояние $AB = x$ и $BC = y$ найдем из решения треугольника ABC . Нам известны все три угла: α ; $180 - \beta$; $\beta - \alpha$ и сторона $AC = b + q + T$. Тогда

$$x = (b + q + T) \sin (\beta - \alpha) / \sin \beta;$$

$$y = (b + q + T) \sin \alpha / \sin \beta,$$

где угол α и величина b определяются по марке стрелочного перевода; угол β измеряется на местности; прямая вставка q задается; тангенс T берут из таблиц для разбивки кривых по углу поворота $\beta - \alpha$ и принятому радиусу R . Величину тангенса T можно также вычислить по формуле

$$T = R \operatorname{tg} ((\beta - \alpha) / 2).$$

Отложив по оси пути от точки примыкания B отрезок x , находим точку A – центр стрелочного перевода. Для определения на местности положения вершины угла поворота C откладываем вдоль примыкающей линии расстояние y . Эту же точку можно получить, если в центре стрелочного

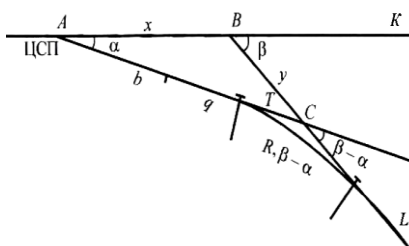


Рисунок 10.12 – Примыкание путей

перевода отложить угол крестовины α и вдоль стороны AC полученного угла отложить расстояние $b + q + T$.

В том случае, если место установки стрелочного перевода задано разбивка примыкания производится в обратном порядке. Теодолит устанавливают в точку A и откладывают угол α . Таким образом находят точку пересечения C , в которой измеряют угол $\beta - \alpha$ и производят вставку переводной кривой.

10.5 Геодезические работы при строительстве мостов

Современные мостовые переходы представляют собой сложные инженерные сооружения. Для выполнения разбивочных работ и дальнейшего геодезического сопровождения строят специальную геодезическую разбивочную сеть, обеспечивающую выполнение работ на всех стадиях строительства мостового перехода. Кроме того, правильно расположенная и надежно закрепленная разбивочная основа может использоваться и для наблюдения за деформациями моста в процессе его строительства и эксплуатации.

Разбивочную сеть создают в условной системе координат, в которой за ось абсцисс принимают ось мостового перехода. За условное начало координат принимают такую точку, закрепляющую ось, которая имеет меньшее пикетажное значение. Это делают исходя из условия положительности координат всех пунктов. Пункты разбивочной основы закрепляют в геологически устойчивых местах, не затопляемых паводковыми водами.

При построении разбивочных сетей довольно часто применяют триангуляцию. Форма ее может быть различна, но наиболее часто используют простой или сдвоенный геодезический четырехугольник (рисунок 10.13).

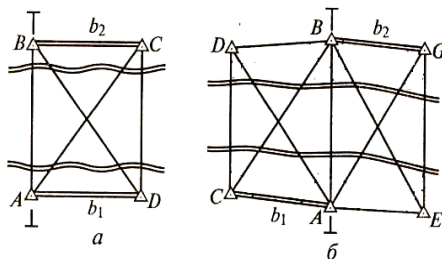


Рисунок 10.13 – Разбивочная сеть моста:
 а – геодезический четырехугольник;
 б – сдвоенный геодезический четырехугольник

Оптимальной схемой разбивочной сети следует считать фигуру,

ограниченную двумя прямоугольниками, включающую ось моста AB и создающую два базиса для разбивки опор засечками (b_1 и b_2). Длины сторон колеблются от 0,2 до 2,0 км. Угловые измерения производят со средней квадратической погрешностью 1–2".

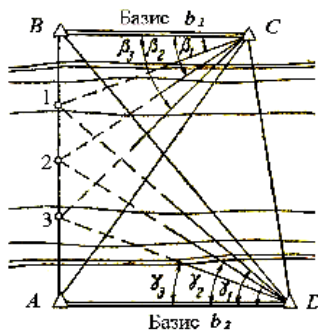


Рисунок 10.14 – Схема разбивки опор моста

Для разбивки опор мостового перехода прежде всего выносят в натуру положение их центров. Сначала, пользуясь координатами пунктов опорной геодезической сети и центров опор, вычисляют углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \gamma_1, \gamma_2, \dots$ (рисунок 10.14) и по ним определяют положение центров опор способом засечек с двух пунктов триангуляции. Точность измерения базисов и точность теодолитов для построения углов β и γ рассчитывают в соответствии с допускаемыми погрешностями в определении общей длины моста и расстояний между центрами опор.

Для разбивки на пунктах C и D устанавливают теодолиты. На определяемой точке размещают визирную марку с оптическим центриром. По указанию наблюдателей ее перемещают, добиваясь совмещения оси визирной марки с коллимационной плоскостью теодолитов, задающих разбивочный угол.

Положение визирной марки, находящейся на пересечении визирных лучей двух теодолитов, проектируют с помощью оптического центрира на землю и закрепляют. Затем определяют положение точки при втором положении вертикального круга теодолита. Из двух положений точки находят среднее. Контролем правильности выполнения разбивочных работ является измерение расстояний между вынесенными центрами нескольких опор.

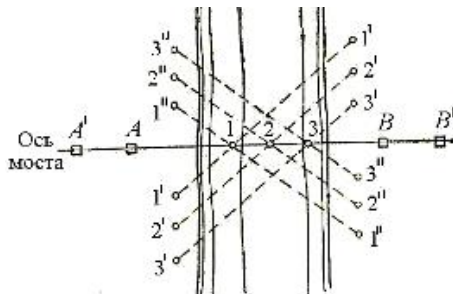


Рисунок 10.15 – Схема закрепления положения опор

В процессе строительства центр опор приходится восстанавливать несколько раз: для возведения фундаментов, установки опалубки при бетонировании опор, перед установкой пролетных строений. Поэтому для опор, расположенных в воде, направления засечек с пунктов разбивочной сети закрепляют на противоположном берегу специальными знаками (рисунок 10.15). Для обеспечения контроля строительства в высотном положении на опорах закладывают рабочие репера. Их размещают как можно ближе к месту работы, в том числе и на строящихся опорах. Для этого по опорам, как только они поднимутся выше уровня воды, прокладывают нивелирные хода. Высоты временных реперов периодически контролируют от постоянных, расположенных на берегу.

При монтаже пролетных строений геодезические работы при их установке и сборке состоят:

- из детальной разбивки продольной оси моста и периодической проверки соосности сборки главных ферм или балок с допуском отклонением от проекта 5 мм;

- высотной установки основных узлов в проектное положение со средней квадратической ошибкой определения высоты 2–3 мм;
- периодических контрольных наблюдений во время сборки и установки пролетного строения за плановыми деформациями временных опор.

По окончании строительства опоры производят исполнительную съемку. Исполнительная съемка выполняется также и после монтажа, по результатам которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути. За осадками опор и прогибами ферм под нагрузкой ведут геодезические наблюдения по окончании строительства моста, в момент его испытаний и в период эксплуатации.

11 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

11.1 Геодезические работы при эксплуатации железных дорог

На железных дорогах для обеспечения безопасности движения поездов правилами технической эксплуатации предусматривается постоянный **контроль за состоянием пути, путевых устройств и сооружений.** Контроль может осуществляться при помощи путеизмерительных приборов, а также путем проведения специальных геодезических измерений.

План и профиль пути подвергаются периодической инструментальной проверке. Продольные профили сортировочных горок, полуголок, подгорочных путей и вытяжек на сортировочных, участковых и крупных грузовых станциях проверяются не реже одного раза в два или три года, а на остальном протяжении профиль пути проверяют не реже одного раза в десять лет. Особое внимание обращается на содержание в плане и профиле таких ответственных сооружений пути, как стрелочные переводы, участки пути на кривых и пути на мостах и в тоннелях.

Нивелирование пути производят обычно по головке рельса по закрепленному пикетажу, плюсовым точкам или стыкам рельсов. В результате нивелирования составляют продольные профили, на которых вычисляют уклоны между соседними точками. Нивелированием проверяются также уклоны кюветов, резервов, нагорных канав и других водоотводных сооружений. В необходимых местах нивелируют поперечники.

Правильное положение пути в плане обеспечивает плавность хода поездов и наименьшее воздействие подвижного состава на путь. Поэтому периодически проверяют *кривые участки* пути, и по результатам проверки производят их выправку (рихтовку). Съемку планового положения кривой выполняют обычно тремя способами:

- 1 – способом измерения стрел прогиба при хорде длиной 10–20 м;
- 2 – способом И. В. Гоникберга с помощью теодолита;
- 3 – съемка кривой с помощью электронного тахеометра.

При съемке первым способом кривую размечают по наружному рельсу через 5–10 метров и измеряют стрелы прогиба рельсовой колеи от хорд (f_1, f_2, \dots, f_n) по схеме, изображенной на рисунке 11.1.

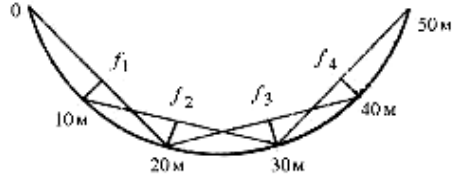


Рисунок 11.1 – Схема съемки по способу измерения стрел

При измерениях стрел прогиба вдоль хорд натягивают тонкую проволоку или леску и у середины хорд измеряют рулеткой с миллиметровыми делениями стрелы f_1, \dots, f_n от нити до шейки рельса. По измеренным стрелам прогиба строят график, на котором определяют начало и конец переходных и круговых кривых, а также вычисляют величины сдвижек точек кривой для рихтовки. По этим же данным определяют величину радиуса и угла поворота.

При съемке способом И.В.Гоникберга кривую разбивают по наружной рельсовой нити через 20 м (рисунок 11.2).

Для выполнения съемки используют теодолит, тонкую вешку и нивелирную рейку. Вешкой фиксируют наблюдаемые точки и точки установки теодолита над головкой рельса. Рейку используют для измерения перпендикуляров f_1, f_2, \dots, f_n методом бокового нивелирования с помощью теодолита, которым по вертикальному штриху сетки нитей снимают отсчет по рейке. Точки установки теодолита (A, B, C) для измерения углов ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$) и перпендикуляров (f) выбирают через 100 м по рельсовой нити. Углы измеряют одним полным приемом при круге лево и круге право, а перпендикуляры (f) дважды: при установке теодолита в начале и в конце хорд. Расхождение между двумя значениями перпендикуляров (стрел) допускается не более 3 мм. При съемке ведут журнал и абрис.

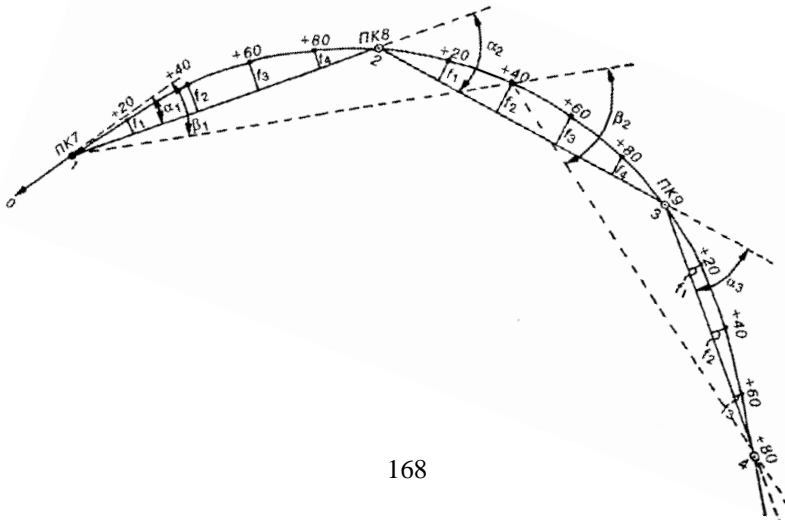


Рисунок 11.2 – Съёмка кривой способом Гоникберга

При съёмке кривых с помощью электронного тахеометра используют вешку со светоотражателем, которую устанавливают через 10–20 м по рельсовой нити кривой или на стыках рельсов. С помощью электронного тахеометра измеряют расстояние, горизонтальный и вертикальный углы на каждую точку, определяемую кривой, а затем по этим измерениям с помощью программного обеспечения тахеометра и графопостроителя наносятся на план. Точность съёмки этим способом любой точки кривой составляет 5 мм, что позволяет легко привести сдвинутые кривые к проектным данным.

Съёмку и нивелирование станций и сортировочных горок производят на основе полигонометрических или теодолитных ходов, которые прокладывают обычно вдоль оси главного пути. При отсутствии электронного тахеометра съёмку путевых устройств ведут обычно способом прямоугольных координат, причем за начало координат принимают пересечение оси главного пути с осью пассажирского здания. За ось X принимают ось главного пути или ось междупутья между двумя главными путями, которую называют *базисом*.

Расстояние по оси Y измеряют по поперечникам перпендикулярно базису. Замеры по поперечникам ведут с помощью тесьмянной рулетки нарастающим итогом от базиса. На поперечниках фиксируют оси всех пересекаемых путей, платформы, здания, бровки, кюветы, канавы, кавальеры и другие объекты.

В абрисе съёмки должно быть показано положение всех путей, их номера, специализация и расстояние между путями, положение путевых устройств, острьков стрелочных переводов, марки крестовин, контрольные столбики, вершины углов поворота на криволинейных участках, а также все устройства на территории станции (пассажирские здания, депо, мастерские, платформы, эстакады, прожекторные мачты, линии осветительной, телефонной, высоковольтной сетей и громкоговорители).

Нивелирование на станции производится по головке рельсов по размеренным точкам на главных путях и поперечниках. По результатам съёмки составляют план станции в масштабе 1:1000 и продольные профили путей.

В настоящее время перед железнодорожной отраслью ставится задача глобальной инвентаризации всего хозяйства железных дорог и железнодорожных станций и создание автоматизированных баз данных, основу которых будут составлять цифровые и электронные планы станций и перегонов в пределах полосы отвода железных дорог. Для этих целей широкое применение находят современные средства измерений в виде

электронных тахеометров, *GPS*, лазерных сканеров и методов аэрокосмической съемки. Они позволяют получать необходимую информацию о местности наиболее точно и оперативно.

В цифровой форме на планах станций или в отдельных ведомостях должны быть приведены координаты центров стрелочных переводов, углов пассажирского здания, локомотивного и вагонного депо, зданий и сооружений, прожекторных мачт, габариты расстояний от осей ближайших путей до наружных граней сооружений, находящихся между путями, а также элементы железнодорожных кривых. В базу данных дистанций пути и службы движения станции должны поступать ведомости стрелочных переводов, путей, пересечений линий электропередач и связи, а также продольные профили всех путей и поперечные профили.

Съемку плана и профиля железнодорожных путей станций и сортировочных горок с помощью электронного тахеометра ведут полярным способом с точки стояния тахеометра. На каждую снимаемую точку железнодорожного пути устанавливают вешку со светоотражателем и производят измерения и регистрацию расстояния до этой точки, горизонтального и вертикального углов на нее. По этим измерениям определяется плановое и высотное положения данной точки относительно стоянки тахеометра. С двух соседних стоянок тахеометра обязательно должны быть сняты не менее трех общих (связующих) точек для получения результатов съемки в единой системе координат и высот.

По материалам съемки составляют план и профили всех путей, которые используют для реконструкции станции и ее переустройства, а также для создания технического паспорта станции.

Кроме получения планов и профилей, железных дорог, при их эксплуатации в неустойчивых местах земляного полотна производят съемку местности и геологические исследования в целях разработки мероприятий по “лечению больных мест” земляного полотна, а также ведут наблюдения за оползневыми местами и их просадкой.

У мостов промерами глубин по створам снимают дно реки в целях систематического наблюдения за состоянием грунта у мостовых опор и определения горизонта высоких вод.

После выполнения капитального, среднего и текущего ремонтов железных дорог производят исполнительную съемку плана и профиля пути, в результате которой выявляют все отступления от проекта в целях приведения пути в проектное положение.

11.2 Геодезические работы, выполняемые при эксплуатации и техническом контроле автомобильных дорог

В процессе эксплуатации автомобильная дорога под воздействием природных факторов и транспортных средств постепенно изнашивается, а

отдельные ее части могут разрушаться. Для содержания дороги в исправном состоянии необходимо проводить постоянные наблюдения за состоянием дорожного полотна и всех его устройств и при необходимости производить текущий или капитальный ремонт дороги.

При содержании и текущем ремонте дорог и искусственных сооружений применяют нивелирование и геодезические измерения с использованием рулеток, шаблонов и визирок.

Для определения износа дорожного покрытия, а также уклонов дорожного полотна и обочин выполняют их нивелирование, по результатам которого определяют отметки измеряемых точек и вычисляют продольные и поперечные уклоны дороги. Поперечные уклоны канав и кюветов проверяют шаблонами, а крутизну откосов – лекалами. Большое внимание обращают на обеспечение водоотвода с проезжей части и обочин. Для этого следят за правильным содержанием кюветов, нагорных канав, выполняя их прочистку и срезку дна. Для проверки уклонов канав используют нивелир, а в промежуточных точках – визирки.

При **реконструкции эксплуатируемых дорог** геодезические работы занимают значительное место во время изысканий и в процессе ее переустройства. При трассировании реконструируемой дороги выполняют улучшение плана и смягчение профиля существующей дороги, прокладывая на отдельных участках новую трассу. Для этого спрямляют и устраняют извилистость трассы, увеличивают радиусы кривых с введением переходных кривых, делают более удобным пересечение с железными дорогами и водотоками, а также улучшают проход через населенные пункты или обходят их.

Для определения положения оси трассы на прямых участках дороги в нескольких местах измеряют ширину земляного полотна и, определив средние точки его, выставляют в них вехи, которые с помощью теодолита выравнивают в одну прямую линию.

На кривых участках дороги для определения радиуса кривой теодолитом измеряют угол поворота и рулеткой длину касательной (тангенс кривой) и затем определяют радиус кривой:

$$R = T / \operatorname{tg}\varphi/2, \quad (11.1)$$

где T – длина касательной (тангенс);

φ – угол поворота трассы.

Проконтролировать величину радиуса кривой можно путем измерения на местности биссектрисы кривой (B) и определения радиуса по формуле

$$R = B / (1/\cos\varphi/2 - 1). \quad (11.2)$$

При рекогносцировочных изысканиях уклоны дорог определяют эклиметром или теодолитом.

Очертание дорожного полотна и дорожной одежды определяют в результате съемки поперечников, количество и размеры которых должны быть достаточными для проектирования реконструкции дорожной одежды, земляного полотна, пешеходных и велосипедных дорожек, водоотводных и снегозащитных сооружений, расположенных в пределах полосы отвода. Ширина поперечников должна быть не менее 20 м в каждую сторону от оси трассы, а в населенных пунктах – до линии застройки.

При **построении плана поперечников** показывают опоры воздушных линий электропередачи и связи, строения, изгороди, декоративное озеленение, а также подземные коммуникации. План поперечников связывают с отметками продольного профиля и вычерчивают обычно в масштабе 1:100 на отдельных листах.

В полосе отвода при обследовании воздушных линий связи и электропередач определяют высоту подвески проводов способом тригонометрического нивелирования теодолитом, их принадлежность, количество проводов, характер опор, напряжение электролинии и положение их относительно дороги. При прохождении реконструируемой дороги через населенные пункты изучают систему подземных коммуникаций (электрокабели, водопровод, канализация, газопровод и т. д.)

Систематическому осмотру подвергаются искусственные сооружения. Для этого производят геодезическую съемку мостов для проверки плана и профиля мостового полотна, положения опор моста в плане и по высоте. На мостах длиннее 50 м выполняют гидрометрические работы (определяют скорость течения реки и ее уклон, горизонты высокие и меженных вод). Нивелируют дно труб для определения ее уклона.

Для проверки качества работ по устройству дороги, дорожных сооружений и для выяснения степени соответствия дороги проектным данным выполняют **технический контроль работ** в процессе строительства и при приемке ее в эксплуатацию.

Технический контроль сопровождается следующими геодезическими измерениями. При контроле земляного полотна проверяют правильность положения его в плане, для чего измеряют *углы поворота и расстояния между ними*. Допускается расхождение в сумме углов на величину $1,5\sqrt{n}$, где n – число углов поворота, а относительная невязка в длине линии не более 1:1000 ее длины. Проверяют также *ширину земляного полотна*. Допускается сужение земляного полотна между осью и бровкой не более чем на 10 см. Нивелируют все пикеты и переломные точки проектной линии, точки на вертикальных кривых, точки на обеих бровках полотна, по дну кюветов и канав. Допускается отклонение от проектных отметок не более 5 см, при этом в кюветах и канавах должен сохраняться уклон, обеспечивающий сток воды.

При контроле *земляного корыта* измеряют его ширину с допуском отклонения от проекта 5 см, продольный уклон дна определяют нивелированием, допускается отклонение в отметках не более 5 см, а отклонение по глубине допускается не более 5 %.

При контроле *дорожной одежды* проверяют ширину с допуском 5–10 см; толщину покрытия с допуском отклонения до 20 %; отметки по оси с допуском 0,005. Крутизну откосов и размеры кюветов проверяют шаблонами и промерами рулеткой. Увеличение крутизны допускается не более 10 %, а уширение дна кюветов, нагорных канав допускается до 5 см.

При приемке мостов проверяют правильность расположения осей и отметок опор, пролетных строений, проезжей части и подмостовых габаритов на судоходных реках. Производится нивелирование во время пробной нагрузки и после снятия ее, по результатам которого определяется упругий прогиб моста и сверяется с расчетным.

По результатам технического контроля указывают степень соответствия автомобильной дороги проекту и приводят оценку качества выполненных работ.

11.3 Геодезические работы при проектировании, строительстве и эксплуатации систем водопровода и канализации

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений, служащих для обеспечения потребителей водой, а система канализации представляет комплекс сооружений служащих для отвода загрязненных сточных вод за пределы населенного пункта или предприятия.

Система водоснабжения должна обеспечить получение воды из природных источников, ее очистку и транспортировку к месту потребления. Для выполнения этих работ в систему водоснабжения должны входить водоприемное и водоподъемное устройства, сооружения для очистки воды, водопроводные сети, резервуары для регулирования и запаса воды. При использовании артезианских вод можно обойтись без очистных сооружений и резервуаров.

В **систему канализации** входят приемники внутри зданий, канализационная сеть внутри здания, уличная сеть канализации, трубопроводы коллекторы обслуживающие данный район, главный коллектор, очистные сооружения и выпуск в водоем. В случае необходимости в зависимости от рельефа местности системы канализации могут включать насосные станции и напорные трубопроводы для перекачки сточных вод до самотечных коллекторов.

Системы водоснабжения обычно бывают напорными, а сети канализации – самотечными, но иногда, по условиям рельефа, необходима перекачка сточных вод из одного коллектора в другой.

Геодезические работы проводятся на всех этапах строительства и эксплуатации систем водоснабжения и канализации. При изысканиях таких систем основной задачей является получение *топографического плана местности и профиля трассы* трубопровода. Для получения топографического плана вдоль оси трассы трубопровода выполняют тахеометрическую съемку полосы местности в масштабе 1:1000 – 1:2000, а для размещения насосных и компрессорных станций и очистных сооружений – 1:500 – 1:1000. Если же на участки местности, отведенные под строительство, имеются топографические планы прошлых лет съемки, то необходимо произвести их корректуру. Съемку мест перехода трасс через железные и автомобильные дороги, реки и другие препятствия выполняют в масштабах 1:200 – 1:1000. При организации водозабора из рек и переходе трассы через реки определяют отметки урезов воды, производят промеры живых сечений, определяют уклон водотока по правилам производства гидрометрических работ.

Для получения профиля трасс водопровода и канализации выполняют нивелирование. Его обычно производят с помощью нивелира методом из середины, по результатам которого составляют профили в масштабе 1:500 – 1:5000. Стандартная профильная сетка для подземных сетей канализации и водопровода должна содержать графы „Расстояния“, „Отметки земли“, „Отметки лотка“. Схема построения участка профиля трассы подземной канализации показана на рисунке 11.3.

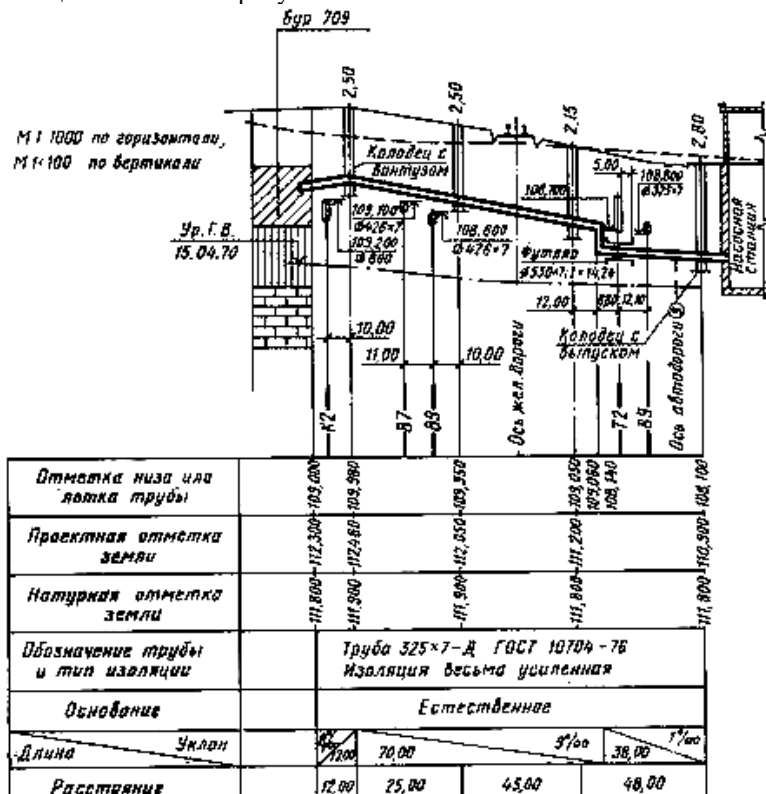


Рисунок 11.3 – Профиль участка водопровода

При проектировании систем водопровода и канализации наиболее жесткие требования предъявляются к *высотной укладке самотечной канализации*. Самотечное движение жидкости в канализационных коллекторах достигается укладкой их по определенному уклону. Уклон трубопровода между лотками смежных колодцев

$$i = h/d = \operatorname{tg} \nu, \quad (11.3)$$

где d – расстояние между соседними колодцами;

h – превышение между лотками соседних колодцев;

ν – угол наклона трубопровода к горизонту.

При проектировании величины уклона трубопровода следует иметь в виду, что при малых уклонах транспортирующая способность жидкости не будет обеспечивать очищение канализационных сетей от неорганических примесей (песка, шлака и т. д.). При больших уклонах будет повышаться скорость движения потока, при которой происходит быстрая порча труб. Кроме этого большие уклоны вызывают значительное заглубление труб, что приводит к большому объему земляных работ. Поэтому уклоны канализационных коллекторов в зависимости от диаметров труб и степени их заполнения колеблются в пределах от 0,007 до 0,0005, то есть от 7 до 0,5 ‰.

Чем меньше заданный уклон, тем требуется большая точность геодезических разбивочных работ. При уклонах 0,003 точность укладки трубопровода обеспечивается ходами технического нивелирования или визирками. При меньших значениях уклонов необходимо применять нивелирование IV класса или гидростатическое нивелирование.

Для перенесения трассы водопровода и канализации в натуру составляется *разбивочный чертеж*, в котором показывают привязочные углы и линии, а также углы и линии по оси трассы. Разбивка поворотных точек трассы и смотровых колодцев подземных коммуникаций может производиться от местных предметов, от красных линий застройки или от опорных теодолитных ходов. От местных контуров выполняют разбивку внутриквартальных трубопроводов. Данные привязок определяют с планов графически. Для привязки используются четкие контуры (обычно углы

зданий). Число засечек на каждую поворотную точку должно быть не менее трех.

При отсутствии контуров местности по трассе или вблизи нее прокладывают теодолитный ход и вычисляют координаты его вершин. Координаты поворотных точек трассы снимают графически с плана. Затем путем решения обратной геодезической задачи вычисляют значение углов и линий, необходимых для разбивки трассы трубопровода. Аналогично переносят трассы трубопроводов и от красных линий застройки. При перенесении трассы в натуру вершины ее обозначают кольями или столбами и закрепляют их створными знаками или параллельными выносками. Фрагмент сводного плана инженерных сетей показан на рисунке 11.4.

Перед выполнением земляных работ ось трассы провешивают и через 5–20 м забивают колья. По обе стороны от оси отбивают грани траншеи и обозначают их колышками. Над колодцами и точками перелома уклонов проектной линии строят обноски. На обноску при помощи теодолита переносят ось трубопровода, которая проектируется на дно открытой траншеи при помощи отвесов.

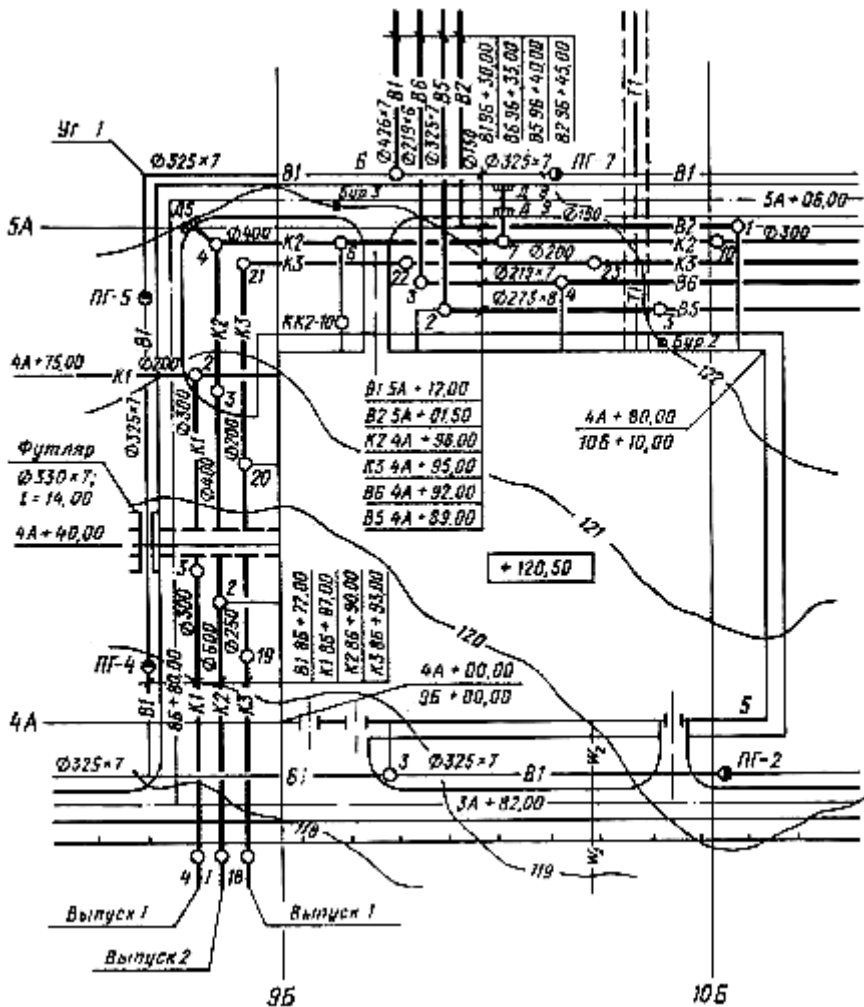


Рисунок 11.4 – Фрагмент разбивочного плана сетей

Для укладки труб по заданному уклону к доскам обносков прибавляют постоянную визирку. Высоты постоянных визирок над проектной линией должны быть равны между собой и установлены с помощью нивелира от реперов трассы. Проектную глубину траншеи проверяют при помощи ходовых визирок, а правильность укладки труб устанавливают с помощью трубных визирок и отвесов (рисунок 11.5).

Укладку труб самотечной канализации необходимо проверять с помощью нивелира.

Более эффективным средством управления точностью прокладки трубопроводов являются лазерные нивелиры, обеспечивающие непрерывное слежение за работой землеройных машин.

После укладки трубопровода перед засыпкой траншеи землей производят *горизонтальную и вертикальную съемки*, на основании которой составляют исполнительные чертежи (план и профиль). Такую съемку уложенных инженерных сетей называют исполнительной. На план наносят здания, к которым осуществлена привязка трассы трубопроводов, данные привязки колодцев к твердым контурам, красные линии застройки, диаметры труб, их протяженность, уклоны и другие данные.

Для **построения исполнительного профиля** выполняют нивелирование трубопровода по его верху. Отметку лотка трубы определяют методом горизонта нивелира по формулам

$$ГН = H_{рп} + a;$$

$$H_{лотка} = ГН - b - (D + \Delta d),$$

где $H_{рп}$ – отметка репера;

a – отсчет по рейке на репере;

b – отсчет по рейке на верх трубы;

D – диаметр трубы;

Δd – толщина стенки трубы.

На профиле указывают уклоны трубопроводов, расстояния между колодцами, диаметр и материал труб, а также сооружения, пересекаемые трассой трубопровода.

Для **съемки существующих подземных коммуникаций** применяют трубокатагели, принцип действия которых основан на законе электромагнитной индукции. Поиск подземных трубопроводов этим прибором предусматривает выявление их местоположения в период эксплуатации, когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые колодцы.

Принцип действия трубокатагелей заключается в обнаружении переменного магнитного поля, создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов. Все применяемые приборы поиска состоят из двух

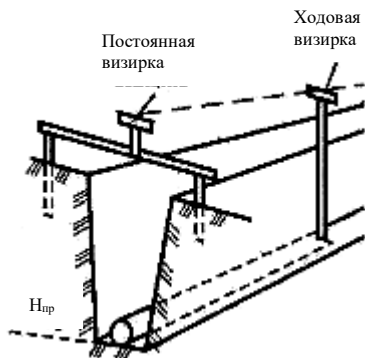


Рисунок 11.5 – Укладка труб с помощью визирок

раздельных блоков: передающего и приемного. Передающий блок состоит из генератора звуковой частоты и источника электропитания, а приемный блок включает антенну, усилитель и воспроизводящее устройство (телефон с наушниками или микроамперметр).

Положение трубопровода при помощи прибора поиска может быть определено контактным и бесконтактным способами. Контактный способ является более точным. В этом способе генератор подключается непосредственно к трубопроводу. После включения приемного устройства начинают поиск. Для определения направления трассы антенну разворачивают в горизонтальной плоскости до получения минимального сигнала, тогда направление оси антенны укажет направление трассы. Для определения глубины залегания коммуникации ось антенны располагают под углом 45° к поверхности земли и перемещают ее перпендикулярно к направлению трассы до минимальной слышимости сигнала. Расстояние от этой точки до оси и будет равно глубине залегания трубопровода.

Бесконтактный способ применяют, когда подключение генератора к трубопроводу невозможно. В этом случае генератор заземляют в двух точках, создавая тем самым вокруг коммуникации электромагнитное поле. Для поиска трубопровода используют отражение величины этого поля. Методика поиска аналогична контактному способу

Точность электромагнитного метода поиска подземных коммуникаций зависит от разрешающей способности прибора, установки антенны и влияния внешних помех. В среднем погрешность определения подземной коммуникации в плане составляет $7h$ сантиметров, где h – глубина залегания коммуникации в метрах. Например, при глубине залегания трубопровода в 1 м погрешность планового положения составит 7 см. Погрешность определения положения трубопровода по высоте обычно в 2 раза больше, чем в плане, т. е. для данного примера она составит 14 см.

После обработки полевых материалов результаты съемки подземных трубопроводов отображаются на топографическом плане с подробной их инженерной характеристикой. Дополнительно к плану составляют продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций.

11.4 Геодезические работы при реконструкции, эксплуатации и экспертизе технического состояния зданий и сооружений

После введения зданий и сооружений в эксплуатацию с течением времени возникают деформации всего сооружения или его отдельных частей, вызванные природными и техногенными причинами. Эти деформации должны систематически изучаться и приниматься меры по устранению их влияния и предупреждению недопустимых последствий.

В результате технического прогресса и совершенствования техники производства возможно введение нового оборудования и замена старого, что нередко требует расширения и реконструкции производственных

площадей. В связи с этим возникает необходимость выполнения **геодезических измерений с целью изучения деформаций всего сооружения, отдельных его частей и оборудования**, а также для геодезического обслуживания дополнительного строительства, реконструкции здания и монтажа оборудования.

Для определения деформаций сразу после окончания строительства высотных и уникальных зданий и сооружений производят *геодезические наблюдения за их осадкой*. С этой целью в тело сооружения закладывают осадочные марки, а вблизи – его глубинные грунтовые реперы. Производя периодически нивелирование осадочных марок от исходных грунтовых реперов определяют величину и правильность осадки всего сооружения и его частей. Для анализа проведенных наблюдений и вынесения рекомендаций в отношении деформации сооружения выполняется графическая и математическая обработка, которая позволяет получить величины осадок марок и прогнозировать ее протекание на будущей период.

Каждое здание характеризуется определенными эксплуатационными свойствами, прочностью и устойчивостью конструкций, теплозащитой и звукоизоляцией. Однако в процессе эксплуатации эти свойства постепенно теряются. Поэтому целью технической эксплуатации здания является поддержание в них заданных проектом параметров в течение установленного срока службы.

При *технической эксплуатации* выполняют основные мероприятия по контролю за несущими конструкциями зданий и сооружений, который осуществляют по результатам геодезических измерений. Среди факторов, вызывающих износ и разрушение зданий, весьма существенными являются вертикальные прогибы ригелей и панелей перекрытий. Измерение этих деформаций осуществляется с помощью нивелира методом геометрического нивелирования. Для каждого ригеля выполняется нивелировка по оси пролета в трех точках, из которых две точки берут на опорах, а третью – в середине. Нивелирную рейку приставляют нулем вверх к нижней части ригеля. Чем выше находится точка, тем отсчет по рейке будет большим. По результатам нивелирования определяют вертикальный прогиб ригеля

$$h = (a_1 + a_3) / 2 - a_2. \quad (11.4)$$

Если эти значения разделить на длину пролета ригеля, то получим величину относительного вертикального прогиба, которая не должна превышать допустимого значения 1:300. Например, при длине ригеля 6 м вертикальный прогиб не должен быть более 20 мм.

Плиты перекрытия нивелируют аналогично ригелям только в девяти точках: вдоль рабочего пролета по три точки в каждом сечении. По результатам нивелирования можно определить как продольный, так и

поперечный вертикальные прогибы нивелируемой плиты, используя для вычисления формулу (11.4).

Вторым важным элементом деформации конструкций является *горизонтальный прогиб (выпучивание) стеновых панелей и внутренних несущих стен*, а также их отклонение от вертикали. Эти деформации могут возникать вследствие перегрузки стен, неравномерности осадки фундаментов и погрешности монтажа конструкций. Для определения таких деформаций используют метод бокового нивелирования с помощью теодолита. Теодолит устанавливают на штативе на одном из концов стены в точке, смещенной от оси стены, и измеряют расстояние от стены до центра визирной оси зрительной трубы. Затем это расстояние откладывают на втором конце стены и наводят на ней трубу теодолита. После этого последовательно устанавливают рейку перпендикулярно стене в точках по трем сечениям, соответствующим низу, середине и верху стены. По полученным отсчетам в одноименных точках сечений определяют горизонтальный прогиб стеновой панели по аналогии с вертикальным прогибом по формуле (11.4).

Для определения величины отклонения панели стены от вертикального положения по результатам бокового нивелирования вычисляют разность отсчетов по рейке в нижней и верхней точках данного сечения панели и сравнивают полученные результаты с допустимыми значениями.

Деформации конструкций могут возникать также от *неравномерности оседания фундаментов колонн каркасных зданий*. Для определения величины неравномерности осадок фундаменты колонн периодически нивелируют по циклам, в среднем через каждые 6 месяцев. В каждом цикле вычисляют высоты осадочных марок фундаментов и величины осадок каждой марки между циклами. По этим данным определяют неравномерность оседания фундаментов колонн для каждого межжесового интервала (d), которые не должны превышать допустимой величины, равной $0,002d$.

Для бескаркасных зданий вместо неравномерности оседания колонн определяют прогиб несущих стеновых панелей путем нивелирования марок, заложенных на концах и в середине данной линии цоколя. По результатам нивелирования вычисляют по формуле (11.4) абсолютную величину прогиба, а затем и относительный прогиб. Допустимая величина относительного прогиба для крупнопанельных зданий не должна превышать $0,0005d$, где d – длина участка стены.

Деформации каркасных зданий могут возникать при отклонении колонн от вертикали. Для определения вертикальности колонн используют теодолит, устанавливаемый в перпендикулярных плоскостях параллельно продольной и поперечной осям зданий. Величину отклонения от вертикали определяют так же, как и наклон стены, по формуле (11.4).

В результате перегрузки конструкций, неправильного армирования, неравномерной осадки фундаментов и температурных воздействий в теле зданий могут возникать трещины. Для проверки стабилизации трещин их периодически измеряют индикатором часового типа.

В качестве **актуальных технических проблем при реконструкции** относятся повышение этажности существующих зданий, расширение улиц и проездов, приспособление действующих объектов к требованиям более совершенных новых схем производства. Одним из путей решения этих проблем является **передвижка зданий**, позволяющая сохранить исторические и архитектурные памятники, сэкономить денежные средства и строительные материалы. Для передвижки сооружения по обе стороны его разбивают с помощью теодолита оси рельсовых путей. Высотное положение рельсовых путей контролируется нивелированием с допуском ± 3 мм. На рельсах раскладываются металлические катки, на которых и передвигают здание. При движении здания производят его повторное нивелирование. Поперечный сдвиг здания контролируется боковым нивелированием с помощью теодолита. Продольное движение здания контролируют рулеткой или светодальномером.

При приемке и экспертизе технического состояния зданий и сооружений геодезическими методами измерений проверяют площади и высоту внутренних помещений, ширину и высоту оконных и дверных проемов, расстояния между балконами и их размеры, а также определяют подъем кровли. По отвесу или теодолитом проверяют вертикальность внутренних и наружных стен, а также линий пересечения стен, оконных и дверных проемов. В отдельных случаях откапывают фундамент для проверки глубины его заложения. Для проверки уклона труб через смотровые колодцы выполняют нивелирование канализации. Проверяют также планировку площадок перед зданиями и в других местах для выявления того, насколько они обеспечивают сток атмосферных осадков.

Таким образом, *геодезические работы позволяют организовать мероприятия по определению параметров эксплуатационной пригодности зданий, а также осуществить контроль при ремонте, реконструкции и экспертизе технического состояния данных сооружений.*

11.5 Геодезические работы при обмерах и реставрации архитектурных объектов

При **реконструкции и реставрации исторических сооружений и архитектурных памятников** возникает необходимость в выполнении **обмерных работ**. Такие работы можно выполнить непосредственными или косвенными геодезическими измерениями и методами фотограмметрической съемки.

Метод непосредственных обмеров основан на измерении объектов с помощью рулеток, отвесов, уровней, водяного нивелира, т. е. с

использованием простейших измерительных средств. Данный метод применяется для обмеров небольших строений, интерьеров зданий и архитектурных деталей, доступных для непосредственного измерения. В процессе обмеров архитектурных сооружений выполняют следующие работы:

- измеряют общие габариты объекта;
- определяют размеры деталей (дверных и оконных проемов и т. д.);
- устанавливают пространственное положение объекта (ориентация в пространстве);
- выявляют архитектурные связи между различными формами здания.

Обмеры являются составной частью работ по изучению и исследованию памятников архитектуры. От качества выполнения обмеров во многом зависит качество проекта реставрации памятника архитектуры. По результатам натурных измерений составляют обмерочные чертежи.

При использовании для выполнения обмеров *косвенных геодезических измерений* используются такие геодезические приборы, как теодолиты, нивелиры, электронные тахеометры и т. д.

При производстве обмеров в целях разработки проектов реставрации необходимо выполнить привязку опорных точек архитектурного объекта к пунктам государственной геодезической сети, особенно при обмерах крепостей, монастырей, усадеб. Способы создания планово-высотной основы аналогичны тем, которые используются и при топографической съемке местности. К ним относятся проложение замкнутых теодолитных и нивелирных ходов вокруг памятника архитектуры, а также способы микротриангуляции и геодезических засечек.

В процессе проложения теодолитных и нивелирных ходов проводят измерения для определения координат и высот отдельных точек,

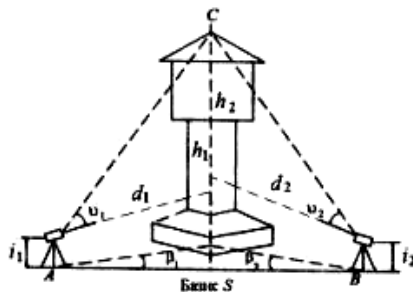


Рисунок 11.6 – Косвенные геодезические измерения

необходимых для выполнения детальных обмеров фасадов и интерьеров зданий. К таким точкам относят углы зданий, дверные и оконные проемы и другие характерные точки объектов. Например, при определении координат труднодоступных точек можно использовать способ прямой угловой засечки (рисунок 11.6). Для этого в точках A и B теодолитного хода с известными координатами с

помощью теодолита измеряют горизонтальные углы β_1 и β_2 . Тогда координаты определяемой точки C (X_C и Y_C) можно определить по формулам

$$X_C = \frac{X_A \cdot \operatorname{ctg}\beta_2 + X_B \cdot \operatorname{ctg}\beta_1 - Y_A + Y_B}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2};$$

$$Y_C = \frac{Y_A \cdot \operatorname{ctg}\beta_2 + Y_B \cdot \operatorname{ctg}\beta_1 + X_A - X_B}{\operatorname{ctg}\beta_1 + \operatorname{ctg}\beta_2},$$

где X_A, Y_A, X_B, Y_B – координаты исходных точек A и B .

Для определения высоты точки 1 ($H_{1-1'}$) используют способ тригонометрического

нивелирования. При этом возможны два варианта измерений. В первом варианте можно непосредственно измерить расстояние d от прибора до проекции точки $1-1'$ (рисунок 11.7). Тогда с помощью теодолита измеряют вертикальные углы ν_1 и ν_2 на верх и низ сооружения. Высота объекта

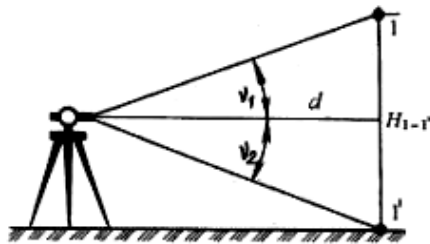


Рисунок 11.7 – Определение высоты

$$H_{1-1'} = d \operatorname{tg}\nu_1 + |d \operatorname{tg}\nu_2|$$

В этой формуле второе слагаемое $d \operatorname{tg}\nu_2$ необходимо брать по абсолютной величине, так как угол ν_2 на низ сооружения будет с отрицательным знаком.

Во втором варианте расстояние до определяемой точки непосредственно измерить нельзя (см. рисунок 11.6). В этом случае для определения высоты точки C сооружения измеряют базис $AB = S$. С концов базиса при двух положениях вертикального круга измеряют теодолитом горизонтальные (β_1, β_2) и вертикальные (ν_1, ν_2) углы. Из треугольника ABC по теореме синусов можно определить расстояния d_1 и d_2 :

$$d_1 = S \cdot \sin\beta_2 / \sin(\beta_1 + \beta_2); \quad d_2 = S \cdot \sin\beta_1 / \sin(\beta_1 + \beta_2).$$

Тогда превышения h_1 и h_2 точки C над штрихом сетки нитей при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы (когда на вертикальном круге установлен отсчет равный месту нуля) будут равны:

$$h_1 = d_1 \operatorname{tg}\nu_1; \quad h_2 = d_2 \operatorname{tg}\nu_2.$$

Высоту точки C сооружения

$$H_C = h_1 + i_1 = h_2 + i_2,$$

где i_1 и i_2 – высоты теодолитов на точках A и B .

Расхождения между двумя значениями высоты сооружения допускается не более 5 см.

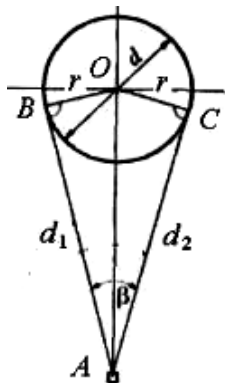


Рисунок 11.8 – Определение радиуса сечения

При обмерах сооружений, имеющих форму окружностей (купола церквей, колонны, башни и другие объекты), возникает задача определения радиусов сечений. Из рисунка 11.8 видно, что

$$r = d_1 \operatorname{tg} \beta/2; \quad r = d_2 \operatorname{tg} \beta/2,$$

где d_1 и d_2 – расстояния до касательных к окружности, которые определяют по нитяному дальномеру теодолита, по рейке, установленной в точках B и C .

Более совершенным способом для выполнения обмеров архитектурных сооружений является *фотограмметрический метод*, который выполняется с помощью фототеодолитной съемки и последующей обработки фотоснимков объекта на специальных стереофотограмметрических приборах. Фототеодолитные снимки архитектурных и исторических памятников являются наглядным метрическим документом для изучения, реконструкции и реставрации данных объектов.

12 ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

12.1 Организация геодезических работ

Геодезические работы в строительстве представляют собой комплекс измерений, обеспечивающих правильное и точное размещение сооружений и соответствие их конструктивных и планировочных элементов геометрическим параметрам проекта и требованиям нормативных документов.

В состав геодезических работ, связанных с их выполнением непосредственно на строительной площадке, входят:

- создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающей построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений;
- разбивка внутриплощадочных линейных сооружений, временных зданий (сооружений)
- создание внутренней разбивочной сети сооружений на исходном и монтажном горизонтах и разбивочной сети для монтажа технологического оборудования, а также производство детальных разбивочных работ;
- геодезический контроль точности выполнения строительно-монтажных работ;
- выполнение геодезических съемок и составление исполнительной документации, фиксирующей имеющиеся отклонения от проекта;
- геодезические наблюдения за деформациями оснований, конструкций сооружений и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора.

Указанные выше геодезические работы являются неотъемлемой частью технологии строительно-монтажных работ и осуществляются по единому графику, увязанному со сроками выполнения процесса строительного производства. Эти работы производятся геодезическими подразделениями, входящими в состав строительных организаций.

Основной задачей геодезической службы в строительно-монтажных организациях является производство комплекса геодезических работ, обеспечивающих точное соответствие проекту возводимых сооружений, а также осуществление геодезического контроля в процессе строительства.

В настоящее время качество строительства и долговечность зданий и сооружений во многом зависит от совершенства форм организации геодезической службы и методов производства геодезических работ в строительстве. В зависимости от объема строительно-монтажных работ, выполняемых организацией, структура геодезической службы может быть следующей. Строительно-монтажное объединение (трест, ДСК) имеют в своем составе геодезическую службу, возглавляемую главным геодезистом. В свою очередь, каждое строительное управление, входящее в состав объединения (треста, ДСК), в зависимости от объема и сложности выполняемых работ, имеет геодезическую службу, состоящую от 1 до 3 человек.

Геодезическая служба строительной организации осуществляет:

- приемку от заказчика геодезической документации на объекты строительства, закрепленные в натуре опорные сети, главные оси зданий, трасс инженерных коммуникаций и строительной сетке;
- приемку (совместно с производственно-техническим отделом) генпланов, рабочих и разбивочных чертежей объектов, проверку геометрических размеров, координат и высотных отметок в рабочих чертежах;
- согласование проектов производства работ (ППР) и проектов производства геодезических работ (ППГР) для объектов, по которым эти чертежи выполнены проектными организациями;
- производство основных геодезических работ в дополнение опорной геодезической сети и строительной сетки для строительной площадки, выполненных заказчиком;
- обеспечение сохранности, восстановление геодезических пунктов и знаков в период строительства, а также их замену, если они попали в зону застройки;
- производство геодезических разбивочных работ и расчет необходимой точности геодезических измерений, выполняемых на всех стадиях измерений;

- инструментальный контроль за правильностью производства строительно-монтажных работ в соответствии с проектом, строительными нормами и правилами;

- организация и производство геодезических наблюдений за деформациями зданий и сооружений в процессе строительства (если это предусмотрено проектом);

- исполнительные съемки законченных строительных объектов или их отдельных частей, а также участие в приемке актов на скрытые работы, определение объемов земляных работ и проведение контрольных измерений;

- ведение оперативного геодезического плана строительной площадки.

Геодезическая служба строительно-монтажных организаций несет ответственность за правильность выполнения всех разбивочных работ. Поэтому наиболее ответственные работы по геодезическому обеспечению строительства выполняют работники геодезической службы. К этим работам относятся: разбивка осей сооружений, создание внутренней разбивочной сети, передача осей и отметок на монтажные горизонты, производство исполнительных съемок и ведение геодезической документации.

Несложные детальные разбивочные работы, связанные с геометрическим обеспечением отдельных строительно-монтажных операций с соблюдением требованием СНиПа, должны выполнять линейные работники (прорабы, мастера). Сюда относятся: приемка по акту от геодезистов управления, закрепленных в натуре осей сооружений, трасс и т. д.; устройство обносок, их ремонт или восстановление; выборочная проверка геометрических размеров и форм строительных конструкций, контроль; установка и предварительная проверка опалубки по вынесенным осям и отметкам; разбивка анкеров от осей нанесенных на опалубку; нивелировка для проверки горизонтальности строительных элементов; установка закладных металлических частей в фундаменте и колонн в плане, по высоте и вертикали; выверка строительных конструкций непосредственно в процессе монтажа.

Производители работ и мастера не имеют права приступать к строительно-монтажным работам до выполнения геодезических разбивок, оформленных соответствующим актом. Акт разбивки является разрешением на производство строительно-монтажных работ. Запрещается производить работы, препятствующие геодезическому контролю ранее выполненных работ.

В общем журнале работ приводятся указания геодезиста по устранению нарушений геометрических параметров монтажа конструкций сооружений. Строительная организация обязана их выполнить.

Геодезические работы рекомендуется выполнять с использованием высокопроизводительных приборов (электронно-оптических, лазерных и т. д.), которые должны быть своевременно поверены, отъюстированы и компарированы.

Для строительства особо сложных и уникальных объектов и зданий выше 9 этажей надлежит разрабатывать проекты производства геодезических работ (ППГР), в которых должны приводиться обоснования выбора методов геодезических построений, устанавливаться последовательность их выполнения, места контрольных измерений.

При проведении геодезического контроля за производством строительно-монтажных работ задача состоит не только в том, чтобы установить неправильное ведение работ, но и в том, чтобы предупредить возможное появление недопустимых отклонений от проекта.

12.2 Техника безопасности при выполнении геодезических работ

При выполнении геодезических работ на строительной площадке следует руководствоваться правилами охраны труда, изложенными в СНиП и ведомственных инструкциях по охране труда.

Все виды геодезических работ должны выполняться при строгом соблюдении правил техники безопасности, разработанных применительно к конкретным условиям. Для ознакомления всех работающих с этими правилами проводят **инструктаж**. К работе на высоте допускаются лица, прошедшие медицинское освидетельствование в порядке, определенном Минздравом Республики Беларусь.

При выполнении геодезических работ на строительной площадке прежде всего соблюдаются общие правила техники безопасности в строительстве. При выполнении геодезических работ, сопутствующих строительным, выполняют все правила техники безопасности, установленные для данного вида строительных работ, а также специфические.

Опасность получения травмы определяется в зависимости от условий рабочего места лица, производящего геодезические работы. При работе на проезжей части дороги с интенсивным движением транспорта и работе на стройплощадке с большим числом работающих механизмов назначают наблюдателя.

При выполнении измерений, связанных с земляными работами (рытье глубокого котлована), необходимо следить за крутизной откосов и правильным креплением стенок, избегать подкопов. *Запрещается производить геодезические работы с установкой прибора:*

- рядом с экскаватором во время его работы или под стрелой;
- на краю котлована с крутыми откосами, а также на краю неглубокого котлована, в месте выемки грунта экскаватором, во избежание обвала;

- под нависшим грунтом (козырьком) или непосредственно на нем.

В зимнее время при прогреве грунта или бетона электрическим током геодезические измерения следует производить вне таких участков, предупреждая возможность поражения электрическим током из-за касания стальной рулеткой арматуры, находящейся под напряжением. В случае необходимости проведения геодезических работ в местах, где проходят неизолированные токоведущие линии, их необходимо отключить.

При работе на строительной площадке с использованием лазерных приборов необходимо следить за тем, чтобы лазерный луч не выходил за ее пределы и располагался, по возможности, выше головы или ниже пояса работающих. Корпус лазерного прибора и блока питания необходимо заземлять. Соединительные кабели приборов не должны иметь повреждений. Все работающие на строительной площадке должны быть осведомлены о вредном воздействии луча лазера на сетчатку глаза.

Подъем на здание геодезистов с приборами допускается только по лестничным маршам, имеющим ограждение. Лестницы должны быть в исправном состоянии и надежно закреплены. Следует избегать передвижения с приборами по лестницам, ступеньки которых не очищены от грязи, снега и льда. Запрещается передвигаться по конструкциям, перемышкам, перегородкам и стенам.

Геодезический контроль монтажа внутри многоэтажного здания должен производиться с мест, защищенных козырьками. При работе на высоте геодезисты обязаны пользоваться страховочным поясом, закрепленным на колонне или монтажной петле бетонной конструкции.

Нельзя оставлять геодезические приборы без присмотра на монтажном горизонте во время перерыва в работе. Геодезические приборы переносят только в упаковочных чехлах, а штативы в сложенном виде. В том случае, если надо перейти с одного места производства работ на другое, теодолит необходимо снять со штатива и переносить в руке.

При разбивке монолитных фундаментов и исполнительной съемке опалубки и закладных деталей фундаментов не разрешается ходить по арматуре, переходить с опалубки на опалубку по распоркам. При необходимости следует устраивать переходные мостики или настилы. Запрещается вести разбивочные работы на опалубке в дождливое время, а также производить геодезические работы в опасных зонах: вблизи погрузочно-разгрузочных работ, подачи материалов и конструкций подъемными механизмами.

Высоту подвески проводов линий электропередачи определяют аналитическим путем, не касаясь проводов рейками, рулетками, вешками. Рейки, вешки и другие предметы, применяемые для проведения измерений, не разрешается подносить ближе чем на 2 м к электропроводам, в том числе контактными на железных дорогах и трамвайных линиях.

При передаче точек разбивочной сети на последующие этажи здания методом вертикального проецирования соответствующие отверстия в перекрытиях должны быть ограждены с расчетом, чтобы исключить падение через них различных предметов.

Междуетажные перекрытия зданий, не имеющие наружных стен следующего этажа, должны быть ограждены перилами высотой не менее 1 м. Переходы по установленным монтажным конструкциям, не имеющим ограждения, запрещаются. Переход по подкрановым балкам разрешается при наличии надежно укрепленного и туго натянутого вдоль колонн на высоте 1–2 метра стального каната, за который цепляется карабин предохранительного пояса.

Проходы, над которыми ведется монтаж, должны быть закрыты. Нельзя проводить измерительные работы под грузом, подаваемым к месту монтажа.

Геодезический инструмент следует ставить так, чтобы он не мог упасть. Прислонять теодолит или нивелир на штативе к стене воспрещается. Геодезические инструменты следует оберегать от резких ударов и сотрясений. Попавшие под дождь инструменты следует высушить, протереть объектив, окуляр и только после этого уложить в упаковочный футляр. Ленту мерных приборов необходимо очистить от грязи и протереть насухо сразу после окончания работ. Хранить геодезические инструменты следует в сухом, отапливаемом помещении, вдали от источников тепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) : учеб. для студ. вузов ж.-д. транспорта / С. И. Матвеев [и др.] ; под общ. ред. проф. С. И. Матвеева. – М. : ГОУ «УМЦ ЖД», 2007. – 554 с.

2 Инженерная геодезия : учеб. для студ. негеод. вузов / Д. Ш. Михелев [и др.]; под ред. проф. Д. Ш. Михелева. – М. : АСАДЕМА, 2004. – 456 с.

3 Инженерная геодезия / А. А. Визгин [и др.]. – М. : Высшая школа, 1985. – 351 с.

4 Электронные геодезические приборы и работа с ними : учеб.-метод. пособие для вузов / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 36 с.

5 Практикум по инженерной геодезии / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 55 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ..... | 3 |
| 1 ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА..... | 4 |
| 1.1 Общие сведения о топографических съемках местности..... | 4 |
| 1.2 Сущность тахеометрической съемки. Тахеометрические формулы..... | 5 |
| 1.3 Приборы для тахеометрической съемки..... | 8 |
| 1.4 Построение и уравнивание съемочной сети при тахеометрической съемке | 10 |
| 1.5 Производство тахеометрической съемки. Журнал и абрис..... | 14 |
| 1.6 Составление плана тахеометрической съемки..... | 16 |
| 1.7 Автоматизация тахеометрической съемки..... | 17 |
| 2 МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА..... | 18 |
| 2.1 Мензула, ее устройство, поверки и принадлежности..... | 18 |
| 2.2 Устройство и поверки кипрегеля..... | 20 |
| 2.3 Установка мензулы на станции. Прямая и обратная мензульные засечки..... | 23 |
| 2.4 Плановое и высотное обоснование мензульной съемки. Геометриче- ская сеть..... | 25 |
| 2.5 Подготовка планшета. Съемка ситуации и рельефа местности. Оформление плана мензульной съемки..... | 29 |
| 3 НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ..... | 32 |
| 3.1 Нивелирование поверхности по квадратам..... | 32 |
| 3.2 Нивелирование поверхности по магистралям с поперечниками..... | 35 |
| 3.3 Геодезические работы при вертикальной планировке. Составление картограммы земляных работ..... | 36 |
| 4 ОСНОВЫ ФОТОГРАММЕТРИИ И ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ | |

| | |
|--|-----|
| МЕТОДЫ СЪЕМКИ..... | 39 |
| 4.1 Понятие о фотограмметрии..... | 39 |
| 4.2 Основные виды и методы фототопографических съемок..... | 42 |
| 4.3 Основы аэрофотосъемки..... | 44 |
| 4.3.1 Сканирующие съёмочные системы..... | 46 |
| 4.3.2 Виды аэрофотосъемки..... | 48 |
| 4.4 Понятие о трансформировании..... | 49 |
| 4.5 Дешифрирование..... | 52 |
| 4.6 Стерефотограмметрические приборы..... | 54 |
| 4.7 Методы цифровой фотограмметрии..... | 56 |
| 4.8 Дистанционное зондирование Земли..... | 59 |
| 5 СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ..... | 64 |
| 5.1 Электронная тахеометрия..... | 64 |
| 5.2 Технология наземного лазерного сканирования..... | 70 |
| 5.3 Спутниковые радионавигационные системы..... | 74 |
| 5.4 Применение комплексных систем для съемки железных дорог..... | 78 |
| 5.5 Понятие о геоинформационной системе..... | 79 |
| 6 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ..... | 84 |
| 6.1 Общие сведения..... | 84 |
| 6.2 Инженерно-геодезические изыскания для линейных сооружений..... | 85 |
| 6.3 Проложение трассы на местности. Измерение углов поворота и линии трассы..... | 87 |
| 6.4 Разбивка пикетажа, плюсовых точек и поперечников. Съёмка дорожной полосы. Пикетажный журнал..... | 88 |
| 6.5 Круговые кривые, их элементы и главные точки. Разбивка главных точек круговых кривых..... | 90 |
| 6.6 Переходные и суммарные кривые..... | 91 |
| 6.7 Расчет пикетажных значений главных точек круговой кривой. Вынос пикетов с тангенса на кривую..... | 93 |
| 6.8 Привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети..... | 97 |
| 6.9 Нивелирование трассы и поперечников. Журнал нивелирования..... | 101 |
| 6.10 Высотная привязка трассы к реперам государственной нивелирной сети. Нивелирование через реки и овраги..... | 103 |
| 6.11 Обработка журнала нивелирования и составление профиля трассы.... | 107 |
| 6.12 Составление плана трассы. Ведомость углов поворота, прямых и кривых..... | 109 |
| 6.13 Гидрометрические работы..... | 111 |
| 7 СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ..... | 111 |
| 7.1 Общие принципы геодезических разбивочных работ..... | 112 |
| 7.2 Элементы разбивочных работ..... | 116 |
| 7.3 Способы разбивочных работ..... | 116 |
| 8 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ..... | 119 |
| 8.1 Геодезическая разбивочная основа для строительства..... | 122 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 8.2 | Разбивка и закрепление основных осей зданий и сооружений..... | 128 |
| 8.3 | Геодезические работы при устройстве котлованов..... | 129 |
| 8.4 | Геодезические работы при сооружении фундаментов..... | 130 |
| 8.5 | Геодезические работы при возведении надземной части сооружений | 130 |
| 8.5.1 | Построение разбивочной основы на исходном горизонте..... | 131 |
| 8.5.2 | Передача осей и отметок на монтажный горизонт..... | |
| 8.5.3 | Геодезические работы при возведении надземной части сборных зданий..... | 134 |
| 8.6 | Исполнительные съемки..... | 137 |
| 9 | ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ..... | 143 |
| 9.1 | Общие сведения..... | 143 |
| 9.2 | Наблюдения за осадками сооружений..... | 144 |
| 9.3 | Измерение горизонтальных смещений..... | 147 |
| 9.4 | Наблюдения за креном сооружения..... | 149 |
| 10 | ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ..... | 149 |
| 10.1 | Восстановление трассы..... | 153 |
| 10.2 | Разбивка земляного полотна..... | 155 |
| 10.3 | Разбивка сопряжений уклонов продольного профиля..... | 156 |
| 10.4 | Геодезические работы при устройстве верхнего строения дороги..... | 159 |
| 10.5 | Геодезические работы при строительстве мостов..... | |
| 11 | ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ..... | 161 |
| 11.1 | Геодезические работы при эксплуатации железных дорог..... | 164 |
| 11.2 | Геодезические работы при эксплуатации и техническом контроле автомобильных дорог..... | 164 |
| 11.3 | Геодезические работы при проектировании, строительстве и эксплуатации систем водопровода и канализации..... | 167 |
| 11.4 | Геодезические работы при реконструкции, эксплуатации и экспертизе технического состояния зданий и сооружений..... | 172 |
| 11.5 | Геодезические работы при обмерах и реставрации архитектурных объектов..... | 178 |
| 12 | ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ..... | 178 |
| 12.1 | Организация геодезических работ..... | 181 |
| 12.2 | Техника безопасности при выполнении геодезических работ..... | 183 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

КУРС **ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ**

Учебно-методическое пособие для студентов
строительных и транспортных специальностей БелГУТа

Часть II

194

Гомель 2011
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

КУРС ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Учебно-методическое пособие для студентов
строительных и транспортных специальностей БелГУТа

Часть II

Одобрено методической комиссией факультета ПГС

Гомель 2011

УДК 528.48 (075.8)
ББК 26.12
К93

А в т о р ы: канд. техн. наук, доцент **Е. К. Атрошко** (предисл., гл. 1–3, 6, 11), ст. преп. **В. Б. Марендич** (гл. 7–10), ассист. **А. А. Ткачев** (гл. 4, 5), ассист. **Н. С. Сырова** (гл. 12).

Р е ц е н з е н т – заведующий кафедрой «СЭД» канд. техн. наук, доцент **П. В. Ковтун** (УО «БелГУТ»).

Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие для студентов К93 строительных и транспортных специальностей БелГУТа. В 2 ч. Ч. II / Е. К. Атрошко [и др.]; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 187 с.
ISBN 978-985-468-862-6 (ч. II)

В первой части пособия (Гомель, 2010) были изложены основные сведения по геодезии, топографические карты и планы, теория погрешностей измерений, устройство и работа геодезических приборов.

Во второй части рассмотрены способы выполнения съемочных работ, а также вопросы, связанные с выполнением геодезических работ при строительстве и эксплуатации промышленных зданий и инженерных сооружений.

Предназначено для студентов I курса строительных и транспортных специальностей БелГУТа.

УДК 528.48 (075.8)

ББК 26.12

ISBN 978-985-468-862-6 (ч. II)

ISBN 978-985-468-756-8

© Оформление. УО «БелГУТ», 2011