

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Волгоградский государственный технический университет**

# **ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ**

**Методические указания к учебной геодезической практике**

*Сост. В. Н. Анопин*

**Волгоград. ВолгГТУ. 2018**

**© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волгоградский государственный  
технический университет», 2018**

**Топографические** съемки, инженерно-геодезические изыскания и построения [Электронный ресурс] : методические указания к учебной геодезической практике / сост. В. Н. Анопин ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. технич. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (1,05 Мбайт). — Волгоград : ВолгГТУ, 2018. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: РС 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. Официальный сайт Волгоградского государственного технического университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложены вопросы проведения геодезических работ, рассмотрены методы выполнения геодезических измерений и обработки их результатов при выполнении топографической съемки, линейного и площадного нивелирования.

Для студентов строительных специальностей.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА.....	5
§ 1.1. Прокладка теодолитного хода.....	5
§ 1.2. Измерение углов и сторон теодолитного хода.....	5
§ 1.3. Определение магнитного азимута стороны теодолитного хода.....	7
§ 1.4. Съемка ситуации.....	7
Глава 2. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ.....	10
§ 2.1. Разбивка трассы.....	10
2.1.1. Общие положения.....	10
2.1.2. Разбивка пикетажа.....	10
2.1.3. Вычисление пикетажных значений главных точек кривых.....	12
2.1.4. Вынос пикета с тангенса на кривую.....	13
2.1.5. Пикетажная книжка.....	14
§ 2.2. Выполнение работ по нивелированию характерных точек трассы.....	14
2.2.1. Нивелирование на станции, полевой контроль.....	14
2.2.2. Обработка журнала нивелирования трассы.....	16
Глава 3. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ.....	19
§ 3.1. Разбивка сетки квадратов и нивелирование участка.....	19
§ 3.2. Составление проекта вертикальной планировки участка.....	23
Глава 4. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА.....	28
§ 4.1. Общие положения.....	28
§ 4.2. Создание съемочного обоснования.....	28
§ 4.3. Съемка ситуации и рельефа.....	31
Глава 5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ.....	34
§ 5.1. Построение проектного отрезка линии.....	34
§ 5.2. Построение проектного горизонтального угла.....	34
§ 5.3. Вынос в натуру точки с точки с заданной проектной отметкой.....	36
§ 5.4. Передача проектной отметки на дно котлована.....	37
§ 5.5. Построение линии с запроектированным уклоном.....	38
§ 5.6. Разбивка главных точек круговой кривой и детальная разбивка ее способом прямоугольных координат.....	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	43

## **ВВЕДЕНИЕ**

Выполнение топографических съемок, инженерно-геодезических изысканий и построений представляет наиболее сложную и трудоемкую часть изучения студентами геодезии и предназначены для закрепления на учебной геодезической практике, полученных ранее знаний и навыков работы с геодезическими приборами.

Настоящие методические указания предназначены для оказания студентам методической помощи в выполнении предусмотренных учебной программой геодезической практики инженерно-геодезических работ. В них изложены вопросы организации и выполнения полевых работ, а также камеральной обработки результатов геодезических измерений и графических построений, дано описание методов выполнения геометрического и тригонометрического нивелирования, рассмотрен порядок производства топографических съемок и геодезических работ при изысканиях и разбивке сооружений линейного площадного типов.

Особое внимание обращено на работы, изучение которых в течение учебного года проводилось по сокращенному варианту вследствие ограниченности времени аудиторных занятий. Достаточно изученные при выполнении расчетно-графических работ методы камеральной обработки результатов теодолитной и тахеометрической съемок, а также проектирования на профиле трассы изложены кратко. Для восстановления знаний по этим вопросам студенты могут использовать соответствующие методические разработки, имеющиеся на кафедре гидротехнических и земляных сооружений ВолгГТУ.

## **Глава 1. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА**

### **§ 1.1. Прокладка теодолитного хода**

Теодолитную съемку выполняют для составления плана местности с контурами ситуации (без изображения рельефа). Съемочными обоснованиями служат теодолитные ходы, в которых горизонтальные углы измеряют полным приемом теодолитом, а стороны — землемерной лентой (дважды, в прямом и обратном направлениях). У одной из линий хода определяют магнитный азимут с использованием буссоли. Координаты вершин углов замкнутого теодолитного хода на геодезической практике вычисляют в условной системе без привязки их к пунктам государственной опорной геодезической сети.

Преподаватель определяет участок съемки. Бригада намечает местоположение 4—5 точек хода. Желательна приблизительная равенность длин сторон теодолитного хода, они допускаются в пределах 20 — 350 м. Обязательным условием является наличие видимости между соседними точками и возможность измерения мерной лентой между ними расстояний. Выбранные точки на земле закрепляют кольями, вбитыми до уровня ее поверхности. Рядом забивают сторожки — колышки, возвышающиеся над землей на 15—20 см, на которых пишут номера точек. На асфальте точки теодолитного хода и их номера наносят масляной краской. Нумерацию точек ведут по ходу часовой стрелки.

### **§ 1.2. Измерение углов и сторон теодолитного хода**

Горизонтальные углы измеряют способом приемов. Для измерения угла теодолит закрепляют на штативе, устанавливают над точкой теодолитного хода, центрируют с помощью нитяного отвеса и приводят в рабочее положение. Допустимая ошибка центрирования — не более 3 — 5 мм. Затем закрепляют лимб, открывают алидаду, поочередно наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на низ двух вех установленных в точках теодолитного хода и берут отсчеты по шкале горизонтального круга. Из отсчета, взятого при наблюдении на точку, находящуюся справа от наблюдателя, вычитают отсчет на левую точку, получая значение угла в первом полуприеме.

Затем, при закрепленной алидаде ослабляют закрепительный винт лимба, прибор поворачивают приблизительно на  $90^\circ$  (смещают лимб), затягивают этот закрепительный винт и трубу переводят через зенит. После этого открывают алидаду и все дальнейшие действия повторяют при другом положении вертикального круга (второй полуприем). Результаты заносят в журнал (табл.1.1).

Величины измеренных в полуприемах углов не должны отличаться больше, чем на двойную точность отсчетного устройства. При большем рас-

хождении угол измеряют повторно. Если расхождение допустимо, за величину угла в приеме принимают среднее из полученных значений.

Таблица 1.1

**ЖУРНАЛ  
измерения горизонтальных углов и сторон теодолитного хода**

№ точек		Отсчеты по микроскопу	Углы, измеренные		Длины сторон, м	Углы наклона
стоя-ния	визирова-ния		в полу-приеме	в приеме		Расстояния, м
1	4	37°57'	КЛ	86°21,5'	1-2	
	2	311°35'	86°22'		1050,70	
	4	125°04'	КП		2-1	
	2	38°43'	86°21'		<u>1050,60</u> 1050,65	
2	1	337°16'	КП	68°59'	2-3	<u>3°43'</u> 30 м
	3	268°17'	68°59'		65,28	
	1	156°20'	КЛ		3-2	
	3	87°21'	68°59'		<u>65,32</u> 65,30	

После измерения всех углов теодолитного хода вычисляют их сумму  $\Sigma\beta$  изм. и сравнивают ее с теоретической суммой внутренних углов многоугольника  $\Sigma\beta_T$ , определенной по формуле

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ \cdot (n - 2), \quad (1.1)$$

где  $n$  — число углов теодолитного хода.

Угловую невязку  $f\beta$  вычисляют по формуле:

$$f\beta = \Sigma\beta_{\text{изм.}} - \Sigma\beta_T. \quad (1.2)$$

Она не должна превышать допустимой погрешности, вычисленной по формуле:

$$f\beta_{\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{n}. \quad (1.3)$$

При углах наклона стороны линии или ее части более  $2^\circ$  измеряют их значения. Для этого наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы теодолита на ленточку, привязанную к вешке или рейке на высоте прибора, берут отсчеты по шкале вертикального круга при круге слева (КЛ) и справа (КП) от трубы. Место нуля (МО) вычисляют по формуле:

$$MO = \frac{KP + KL}{2} .$$

Для достижения необходимой точности выполнения линейных измерений и последующей съемки ситуации укладку мерной ленты в створе точек теодолитного хода выполняют по визирной оси теодолита. Над точкой хода устанавливают теодолит и наводят зрительную трубу на низ вехи, установленной в конце измеряемой стороны. При затянутых закрепленных винтах лимба и алидады горизонтального круга ослабляют закрепительный винт зрительной трубы и, поворачивая ее в вертикальной плоскости, контролируют прямолинейность укладки полотна мерной ленты (оно не должно отклоняться от вертикальной линии сетки нитей).

Величину угла наклона вычисляют по формуле:

$$v = KL - MO. \quad (1.5)$$

### **§ 1.3. Определение магнитного азимута стороны теодолитного хода**

Для определения теодолитом магнитного азимута стороны хода необходимо:

- 1) закрепить на теодолите ориентир-буссоль, и разарретировать ее (ослабить винт, препятствующий свободному вращению магнитной стрелки);
- 2) совместить нули алидады и лимба горизонтального круга теодолита (вращением алидады сначала «от руки», устанавливают отсчет близкий к  $0^\circ$  потом, затянув ее закрепительным винтом, вращением наводящего винта устанавливают точно  $0^\circ 00'$ );
- 3) открепить закрепительный винт лимба и ориентировать визирную ось зрительной трубы теодолита на север по магнитной стрелке буссоли (вращением лимба сначала «от руки», а затем, закрепив его, наводящим винтом лимба совмещают северный конец стрелки со штрихом на шкале буссоли, после этого проверяют отсчет по горизонтальному кругу, который должен остаться равным  $0^\circ 00'$ );
- 4) открепив алидаду, навести перекрестие сетки нитей зрительной трубы на низ вехи установленной в конечной точке ориентируемой линии;
- 5) снять отсчет по шкале горизонтального круга, являющейся величиной магнитного азимута.

При измерении горизонтальных углов, совмещении нулей алидады и лимба, ориентировании визирной оси зрительной трубы и наведении перекрестия сетки нитей на наблюдаемую точку операции заканчивают, вращая наводящие винты по часовой стрелке.

### **§ 1.4. Съемка ситуации**

Объектами теодолитной съемки застроенной территории являются здания, строения, границы зеленых насаждений, тротуаров, проездов, выходы

подземных коммуникаций, опоры ЛЭП и т. д. При теодолитной съемке ведут **абрис** — схематический чертеж, с изображением ситуации снимаемого участка. Абрис можно вести как по отдельным сторонам теодолитного хода, так и целиком всего участка съемки.

При съемке ситуации применяют **методы прямоугольных координат (перпендикуляров), полярных координат, угловых и линейных засечек, а в отдельных случаях — створов** (рис. 1.). Предпочтение отдают менее трудоемким методам перпендикуляров и линейных засечек, когда съемку выполняют с линий теодолитного хода, на которых последовательно укладывают мерную ленту в створе визирной линии теодолита.

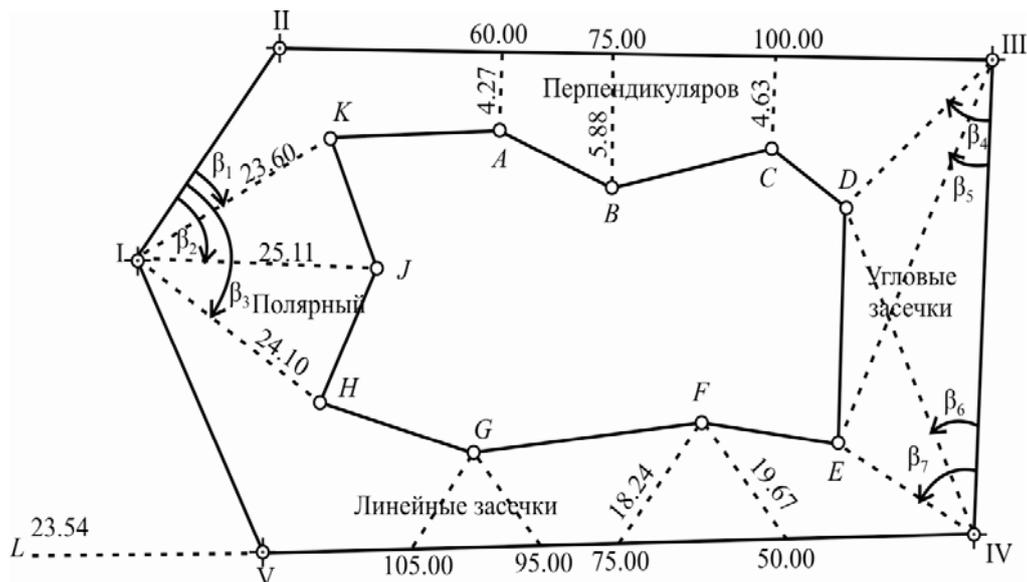


Рис. 1. Абрис. Способы съемки ситуации.

Съемка способом **прямоугольных координат**, удобна для определения местоположения точек, расположенных вблизи линий теодолитного хода. В каждой линии за ось абсцисс принимают ее направление на следующую по ходу часовой стрелки точку. Направление, перпендикулярное этой линии принимают за ось ординат. Прямой угол на учебной практике строят «на глаз». Расстояния от предыдущей точки хода до оснований перпендикуляров (сторона хорды II — III,  $x_1 = 60,00$  м,  $x_2 = 75,00$  м,  $x_3 = 100,00$  м (рис. 1) отсчитывают по стальной мерной ленте, уложенной с помощью теодолита в створе стороны теодолитного хода. Длины перпендикуляров ( $y_1 = 4,27$  м,  $y_2 = 5,88$  м,  $y_3 = 4,63$  м) измеряют рулеткой (точки А, В, С).

При съемке ситуации для построения планов в масштабе 1:1000 длина перпендикуляров, не должна превышать 6м, в масштабе 1:500 — 4м.

Способ **линейных засечек** обычно применяют, если съемка точек, способом перпендикуляров не допустима так как, длина перпендикуляра превышает допуск для данного масштаба. Для нахождения положения точки этим способом до нее измеряют расстояния с двух точек линии теодолитного хода. Расстояния до снимаемых точек не должны превышать длины рулетки.

В абрисе указывают расстояния от предыдущей станции до точек на стороне хода (на рис. 1 при съемке точки  $F$  они равны 50,00м и 75,00м) и расстояния от этих точек до снимаемой точки (18,24м и 19,67м).

Способ **полярных координат** обычно применяют для съемки точек, находящихся на значительном расстоянии от сторон теодолитного хода. Приняв последующую точку линии теодолитного хода за полюс, а направление его стороны за полярную ось, измеряют теодолитом (одним полуприемом) горизонтальный угол между этой линией и снимаемой точкой (полярный угол  $\beta$ ), а мерной лентой или рулеткой длину отрезка от точки теодолитного хода до точки ситуации (полярное расстояние, рис. 1, точки  $H, J, K$ ). При этом угол при определяемой точке должен быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Способ **угловых засечек** применяют для съемки точек, до которых сложно выполнить измерение расстояния от точек и линий теодолитного хода. Положение снимаемых точек устанавливают пересечением двух направлений, определенных измерением горизонтальных углов в вершинах теодолитного хода (рис. 1, точка  $E$  — углы  $\beta_4$  и  $\beta_5$ , точка  $D$  — углы  $\beta_6, \beta_7$ ).

Суть **способа створов** состоит в том, что в створе точек на сторонах теодолитного хода (на прямой, линии между этими точками) определяют положение точек ситуации местности (точка  $L$  по линии IV-V).

## Глава 2. НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

### § 2.1. Разбивка трассы

#### 2.1.1. Общие положения

Трасса — это ось проектируемого сооружения линейного типа.

Работы по разбивке трассы для последующего ее нивелирования складываются из следующих операций:

- 1) закрепления на местности заданных преподавателем точек начала, конца и вершин углов поворота трассы;
- 2) измерения магнитного азимута первого прямолинейного участка трассы (см. §1.3);
- 3) разбивки пикетажа.

#### 2.1.2. Разбивка пикетажа

Работы по разбивке пикетажа включают:

- а) отложения линий  $l$ , соответствующих горизонтальному проложению  $d$ , равному 100м;
- б) измерения расстояний до точек изменения крутизны ската и направления трассы (плюсовых точек);
- в) определение углов поворотов трассы, разбивку круговых кривых, вычисления пикетажных значений главных точек кривых;
- г) вынос пикета с тангенса на кривую;
- 4) разбивку поперечников;
- 5) съемку ситуации вдоль трассы.

Начальную точку трассы обозначают нулевым пикетом (*ПК 0*). Горизонтальные проложения между соседними пикетами принимают равными 100 м. При крутизне склона больше  $2^\circ$  расстояние между пикетами вычисляют по формуле:

$$l = \frac{100\text{ м}}{\cos \nu} \quad (2.1)$$

При значительном изменении крутизны ската на участке между пикетами (рис. 2) сначала измеряют расстояние до точки перегиба рельефа  $l_1$  и вычисляют горизонтальное проложение отрезка с первым уклоном:

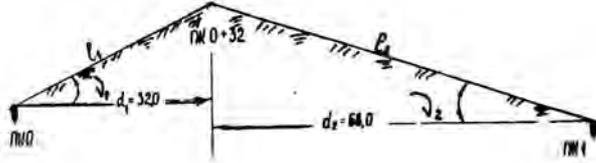
$$d_1 = l_1 \cdot \cos \nu_1, \quad (2.2)$$

затем вычисляют горизонтальное проложение отрезка линии с другим уклоном

$$d_2 = 100 \text{ м} - d_1 \quad (2.3)$$

и его расстояние на поверхности земли

$$l_2 = \frac{d_2}{\cos v_2} \quad (2.4)$$



Углы наклона  $v$  измеряют теодолитом или эклиметром.

Рис. 2. Разбивка пикетажа на участках трассы с изменяющейся крутизной ската

На грунте пикеты закрепляют вбитыми вровень с землей кольями. Рядом с ними забивают сторожки — колышки высотой 15-20см, на которых пишут номер пикета. На асфальте пикеты обозначают масляной краской крестиками внутри окружности диаметром примерно 10 см и рядом записывают номер.

Характерные точки рельефа (плюсовые точки), вершины углов поворота, главные точки кривых, а также точки поперечников трассы закрепляют (колышками или краской) с надписью измеренных до них расстояний.

Углы ( $\beta$ ) между прямолинейными участками трассы измеряют теодолитом полным приемом. По их значениям вычисляют углы поворота  $Q$  — углы, образованные предыдущим и последующим направлениями трассы (рис. 3).

Для правых углов поворота  $Q_{пр.} = 180^\circ - \beta_1$ , левых  $Q_{л.} = \beta_2 - 180^\circ$  (2.5).

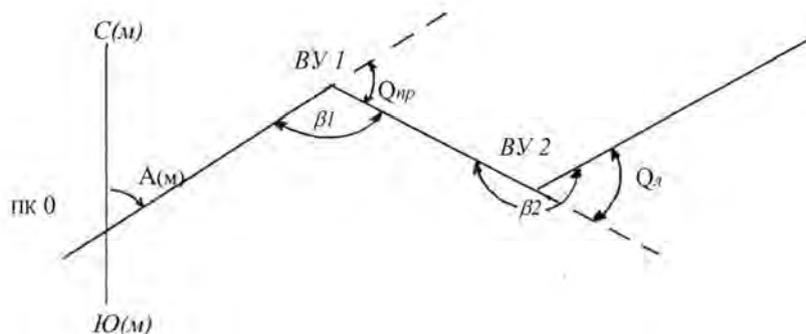


Рис. 3. Углы поворота трассы  $Q_1$  и  $Q_2$

Параллельно с разбивкой пикетажа в местах указанных преподавателем, перпендикулярно к трассе строят поперечники.

### 2.1.3. Вычисление пикетажных значений главных точек кривых

Прямые участки трассы сопрягают закруглениями. Значение радиусов вписываемых круговых кривых  $R$  для конкретного вида и категорий линейного сооружения выбирают из СНиП.

Элементы кривой:  $K$  — кривая;  $T$  — тангенс;  $B$  — биссектриса;  $D$  — домер (рис. 4) вычисляют по формулам:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{Q}{2}, \quad (2.6)$$

$$K = 180^\circ \frac{\pi R Q}{}, \quad (2.7)$$

$$B = R (\sec \frac{Q}{2} - 1). \quad (2.8)$$

$$D = 2T - K \quad (2.9)$$

Пикетажное значение главных точек круговой кривой — начала кривой  $HK$ , середины кривой  $СК$  и конца кривой  $KK$  вычисляют по формулам:

$$\text{ПК НК} = \text{ПК ВУ} - T; \quad (2.10)$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК НК} + K; \quad (2.11)$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК НК} + K/2.$$

Для контроля вычислений используют формулы:

$$\text{ПК КК} = \text{ПК ВУ} + T - D; \quad (2.13)$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК КК} - K/2. \quad (2.14)$$

Расхождения не должно превышать 0,01 м.

Например,  $R = 100$  м,  $Q = 36^\circ 54'$ .

После вычислений получаем:  $T = 33,36$  м,  $K = 64,40$  м,  $D = 2,32$  м,  $B = 5,42$  м.

Расстояние от пикета 3 до вершины угла поворота по ходу трассы равно 5,42 м, ее пикетажное значение  $\text{ПК } 3 + 5,42$  м, тогда

$\text{ПК НК} = \text{ПК } 3 + 5,42 \text{ м} - 33,36 \text{ м} = \text{ПК } 2 + 72,06 \text{ м}$  ( $305,42 \text{ м} - 33,36 \text{ м} = 272,06 \text{ м}$ );

$\text{ПК КК} = \text{ПК } 2 + 72,06 \text{ м} + 64,40 \text{ м} = \text{ПК } 3 + 36,46 \text{ м};$

$\text{ПК СК} = \text{ПК } 2 + 72,06 \text{ м} + \frac{64,40 \text{ м}}{2} = \text{ПК } 3 + 4,26 \text{ м}.$

Контроль:  $\text{ПК КК} = \text{ПК } 3 + 5,42 \text{ м} + 33,36 \text{ м} - 2,32 \text{ м} = \text{ПК } 3 + 36,46 \text{ м};$

$\text{ПК СК} = \text{ПК } 3 + 36,6 \text{ м} - \frac{64,40 \text{ м}}{2} = \text{ПК } 3 + 4,26 \text{ м}.$

На местности положение точек начала и конца кривой определяют отложением от вершины угла поворота в обе стороны трассы расстояний, равных величине тангенса, а середины кривой — по линии, делящий угол  $\beta$  пополам величины биссектрисы (рис. 4).

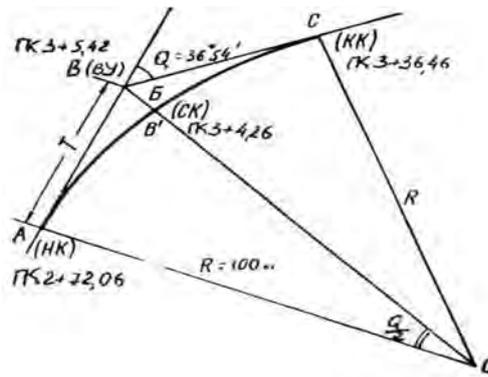


Рис. 4. Определение местоположения главных точек кривой на трассе.

### 2.1.4. Вынос пикета с тангенса на кривую

С тангенса на кривую пикеты переносят способом **прямоугольных координат**. В зависимости от местоположения пикета относительно середины кривой вычисляют расстояние  $l$  до него от начала или конца кривой как разность пикетажных значений. По его величине вычисляют центральный угол  $\varphi$  по формуле:

$$\varphi = \frac{l \cdot 180^\circ}{\pi \cdot R}, \quad (2.15)$$

где  $R$  — радиус круговой кривой.

В нашем примере ПК 3 находится между началом кривой (ПК2+ 72,07м) и ее серединой (ПК 3 + 4,26м).

При этом величины  $l$  и  $\varphi$  (рис. 5.) равны:

$$l = \text{ПК}3 - (\text{ПК}2 + 72,06\text{м}) = 27,94\text{м}.$$

$$\varphi = (27,94 \cdot 180^\circ) : (3,14 \cdot 250\text{м}) = 16^\circ 00',5.$$

Направление линии тангенса от начала кривой в сторону вершины угла поворота принимают за ось абсцисс, перпендикулярное ей направление — за ось ординат.

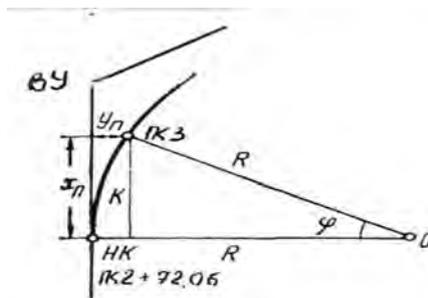


Рис. 5. Вынос пикета с тангенса на кривую.

Определяют величины  $x$  и  $y$ :

$$x = R \cdot \sin \varphi \quad (2.16)$$

$$x = 100 \text{ м} \cdot \sin 16^\circ 00',5 = 27,58 \text{ м};$$

$$y = 2R \cdot \sin^2 \varphi : 2 \quad (2.17)$$

$$y = 2 \cdot 100 \text{ м} \cdot \sin^2 8^\circ 00',25 = 1,94 \text{ м}.$$

Затем по линии тангенса от *НК* откладывают расстояние  $x = 27,58$  м и в этой точке восстанавливают перпендикуляр, длиной  $y = 1,94$  м. Вершина перпендикуляра будет положением пикета на кривой.

### 2.1.5. Пикетажная книжка

При разбивке пикетажа ведут *пикетажную книжку*, в которой отмечают положение пикетов, плюсовых точек, главных точек кривых, точки поперечников и т.д. (рис. 6). Трассу вычерчивают в виде прямой линии по середине страницы. Обозначив наличие *угла поворота* стрелкой вправо или влево, трассу продолжают показывать прямой линией в том же направлении. Кроме точек трассы в пикетажной книжке отмечают объекты ситуации местности по которой она проходит. Съёмку характерных точек ситуации местности выполняют методом перпендикуляров. В пикетажной книжке объекты ситуации подписывают словами или обозначают условными знаками.

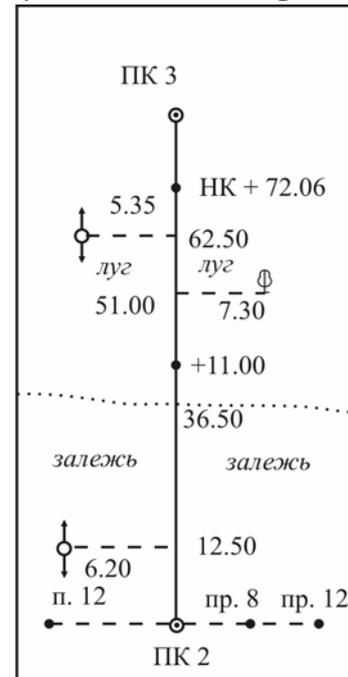


Рис.6. Пикетажная книжка

## § 2.2. Выполнение работ по нивелированию характерных точек трассы

### 2.2.1. Нивелирование на станции, полевой контроль

По окончании разбивки трассы выполняют геометрическое нивелирование всех ее пикетных и плюсовых точек, точек поперечников и главных точек кривых.

Точка, над которой устанавливают нивелир, называется станцией. Точки, в которых отсчеты по рейке берут с двух соседних станций, являются связующими, с одной станции — промежуточными или плюсовыми.

На каждой станции сначала производят отсчеты по черным и красным сторонам реек, установленных на связующих точках. Значения записывают графах журнала «задние» и «передние». Превышения между ними вычисляют по разности заднего и переднего отсчетов. Расхождения в превышениях

по отсчетам, взятым по черным и красным сторонам реек, не должны превышать 5 мм. В противном случае наблюдения повторяют.

Затем при наличии промежуточных точек задний реечник последовательно устанавливает рейку на каждой из них и при разбитых поперечниках в точках поперечников. Отсчеты берут только по черной стороне и записывают в графу журнала нивелирования «промежуточные» (табл. 2.1.).

По приведенным в таблице данным на станции 1 превышения между репером № 183 и ПК 0, определенные по отсчетам, взятые на черных и красных сторонах реек соответственно равны:

$$h_{ч} = 1362 \text{ мм} - 1217 \text{ мм} = + 0145 \text{ мм};$$

$$h_{к} = 6149 \text{ мм} - 6001 \text{ мм} = + 0148 \text{ мм}.$$

Расхождение в превышениях (3 мм) оказалось допустимым. Вычислили среднее превышение (146,5 мм) и, округлив до целых миллиметров, записали 146 мм.

Таблица 2.1

### ЖУРНАЛ ТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ

№№ стан-ций	№№ реперов и пикетов	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм (h <sub>ч,к</sub> )	Средние превышения (h <sub>ср</sub> )	Горизонт прибора, м (ГП)	Отметка, м (Н)
		зад-ние (a)	перед-ние (b)	про-межу-точные (c)				
1	Рп 183	1362						43,384
1	ПК 0	6149	1217		+0145	+3		43,533
			6001		+0148	<b>+0,149</b>		
2	ПК 0	0623			-0693		44,156	43,533
		5409				+3	44,158	
	ПК1		1316		-0693	-0693	<b>44,157</b>	42,843
	+44		6102	0842		<b>-0,690</b>		43,315
3	ПК1	1124			-0977	+3		42,843
		5911				-0977	43,967	41,869
	ПК2		2101		-0977	<b>-0,974</b>	43,970	41,869
			6888				<b>43,968</b>	41,869
	+48			0486				43,482
	ПК2пр 8			2544				41,424
	ПК2пр 12			2368				41,600
	ПК2л1 2			2699				41,269
	...	...	...	...	...	...	...	...

	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...
9	ПК8	1594 6380			+0752	+3 0751		40,833
	Рп93		0842 5630		0750	+0,754		41,587

Постраничный контроль  $\sum a$  67457  $\sum b$  71104  $\sum h_{ч,к}$  -3647  $\sum h_{ср}$  -1824

$$\frac{67457 - 71104}{2} = -1823,5 \quad \frac{-3647}{2} = -1823,5$$

Общая сумма измеренных средних превышений  $\sum h_{ср} = -1824$  мм.

Разность отметок реперов  $\sum h_T = 41,584$  м — 43,384 м = -1,800 м = -1800 мм.

Невязка нивелирного хода  $f_h = \sum h_{ср} - \sum h_T = -24$  мм.

Допустимая невязка хода

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{1,0(\text{км})} = \pm 50 \text{ мм}.$$

### 2.2.2. Обработка журнала нивелирования трассы

По окончании нивелирования трассы выполняют контроль правильности выполненных вычислений (постраничный контроль). Для этого в журнале нивелирования (табл. 2.1.) на каждой странице вычисляют 3 раза общее суммарное превышение. Сначала находят сумму средних превышений ( $\sum h_{ср}$  колонка 7). В приведенном примере она получилась равной — 1824 мм. Затем общее превышение вычисляют, разделив на 2 сначала сумму всех превышений по черным и красным сторонам реек (колонка 6,  $\sum h_{ч,к} : 2$ ), затем разницу всех отсчетов по задним и передним рейкам (колонки 3 и 4,  $(\sum a - \sum b) : 2$ ). Расхождение, которое может получиться за счет округления средних превышений до целых мм, не должно превышать 1 — 2 мм.

В приведенном примере получены близкие значения (-1823,5 мм и — 1824 мм), расхождение (0,5 мм). Следовательно, арифметических ошибок в вычислении превышений нет, Аналогично выполняют обработку данных на других страницах журнала. После их окончания, если расхождения не превышают допуска, вычисляют общее превышение как алгебраическую сумму средних превышений всех страниц. В приведенном примере все числовые значения уместились на одной странице и общее суммарное превышение равно сумме средних превышений этой страницы (-1824 мм).

Определяют невязку нивелирного хода, вычтя из суммы измеренных средних превышений общее теоретическое превышение (разность отметок конечного и начального реперов, — 1800 мм). Получили значение, равное — 24 мм. Вычислили с допустимую невязку по формуле:

$$f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})}, \quad (2.18)$$

где  $L$  — длина хода в км.

В приведенном примере длина хода составляет: трасса 8 пикетов по 100м, расстояния от репера № 183 до пикета 0 и от пикета 10 до репера № 93, каждое равное примерно 100м. Итого 1000м = 1,0км.

Допустимая невязка равна  $\pm 50$  мм. Поскольку получившаяся невязка ( $-24$  мм) не превышает допустимую, результаты нивелирования трассы следует считать удовлетворительными. В каждое из вычисленных превышений вводим поправки, полученные делением невязки, взятой с обратным знаком, на количество станций ( $24 \text{ мм} : 9 \approx 2,7 \text{ мм}$ ). Их значения вписываем в целых миллиметрах (на часть превышений 3, на часть 2 мм), так чтобы сумма поправок по абсолютной величине была равна невязке. Записываем, выделяя курсивом или другим способом, исправленные (уравненные) превышения, выраженные в метрах. На станции № 1 уравненное превышение равно  $146\text{мм} + 3\text{мм} = 149\text{мм} = 0,149\text{м}$ ; на станции № 2 оно составляет  $(-693\text{мм}) + 3\text{мм} = -690\text{мм} = -0,690\text{м}$  и т.д.

Вычисляют отметки каждой из связующих точек, прибавив к отметке предыдущей точки величину уравненного превышения:

$$H_{п} = H_{п-1} + h_{испр.}$$

$$H_{пк0} = H_{рп\text{№}183} + h_1 = 43,384\text{м} + 0,149\text{м} = 43,533\text{м};$$

$$H_{пк1} = H_{пк0} + h_2 + 43,533\text{м} + (-0,690\text{м}) = 42,843\text{м} \text{ и т.д.}$$

Контролем вычислений является отметка конечной точки – репера № 93 (41.587 м). Расхождений быть не должно.

Отметки плюсовых точек и точек поперечников определяют через горизонт прибора (ГП). Горизонт прибора вычисляют, прибавив к отметке точки отсчет по черной стороне установленной на ней рейки.

$$ГП = H_{задн.} + a = H_{пер.} + b \quad (2.19)$$

где  $H_{задн.}$  — отметка задней точки;  $a$  — отсчет по рейке на задней точке, м;  $H_{пер.}$  — отметка передней точки;  $b$  — отсчет по рейке на передней точке.

Например, на станции 3 горизонт прибора, вычисленный по значению отметки ПК1, равен:

$$ГП1 = 42,843\text{м} + 1,124\text{м} = 43,967\text{м},$$

по величине отметки ПК2 равен:

$$ГП2 = 41,869\text{м} + 2,101\text{м} = 43,970\text{м}.$$

Полученные значения различаются на 3 мм (менее 5 мм), тогда

$$ГП_{ср.} = (ГП1 + ГП2) : 2 \approx 43,968\text{м}.$$

Вычисление отметок промежуточных точек (плюсовых, главных точек круговой кривой, точек поперечников) выполняют как разность горизонта прибора и отсчетов по рейке, устанавливаемой на этих точках:

$$H_c = ГП - c, \quad (2.20)$$

где  $s$  — отсчет по рейке, установленной на промежуточной точке.

$$H_{\text{ПК}2+48} = 43,968\text{м} - 0,486\text{м} = 43,482\text{м},$$

$$H_{\text{ПК}2 \text{ пр.}8} = 43,968\text{м} - 2,544\text{м} = 41,424\text{м},$$

$$H_{\text{ПК}2 \text{ пр.}12} = 43,968\text{м} - 2,368\text{м} = 41,600\text{м} \text{ и т.д.}$$

По полученным данным на листе миллиметровой бумаги строят продольный профиль трассы, профили поперечников и выполняют на них проектирование сооружения линейного типа.

## Глава 3. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

### § 3.1. Разбивка сетки квадратов и нивелирование участка.

Работу выполняют для крупномасштабной съемки местности со слабо выраженным рельефом и несложной ситуацией. В процессе прохождения учебной геодезической практики студенты на участке  $20\text{м} \times 30\text{м}$  строят сетку квадратов со сторонами  $5\text{м}$ .

Преподаватель задает положение начальной точки  $A1$  и направление исходной линии на точку  $X$  (рис. 7).

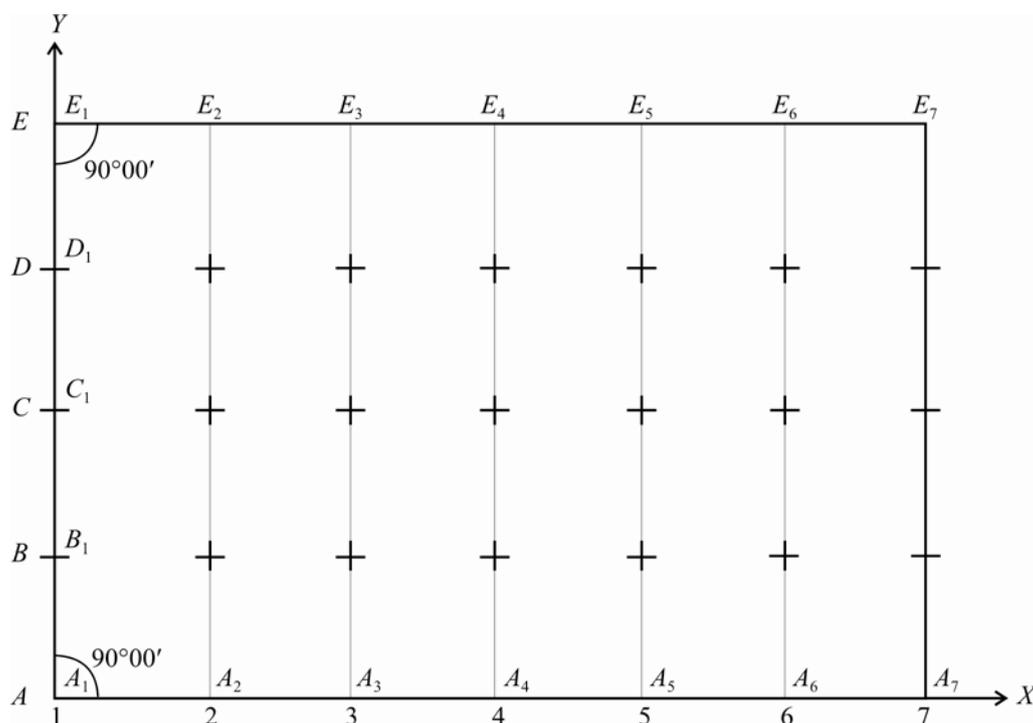


Рис. 7. Схема разбивки сетки квадратов

Для выполнения разбивки участка на квадраты над точкой  $A1$  устанавливают теодолит, центрируют его и приводят в рабочее положение. Наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на заданную преподавателем точку  $X$ , и по направлению линии  $A1X$  откладывают мерной лентой шесть пятиметровых отрезков и получают точки  $A2, A3, A4, A5, A6, A7$ . Затем в точке  $A1$  строят прямой угол и по найденному направлению на точку  $Y$  откладывают четыре отрезка длиной  $5$  метров (точки  $B1, C1, D1, E1$ ). После этого устанавливают теодолит в точке  $E1$ , центрируют, приводят в рабочее положение, строят от направления на точку  $A1$  прямой угол по полученному направлению вновь откладывают шесть пятиметровых отрезков. Получают конечную точку линии  $C6$ . Проверяют расстояние между точками  $A6$  и  $C6$  (оно должно получиться равным  $20\text{м}$ ) и также разбивают на пятиметровые отрезки.

Положение вершин квадратов внутри участка съемки находят, фиксируя концы пятиметровых отрезков по мерной ленте или рулетке, уложенной в створе точек  $A2-E2$ ;  $A3-E3$ ;  $A4-E4$ ;  $A5-E5$ ,  $A6-E6$  (рис.7). Все точки углов квадрата закрепляют колышками, вбитыми вровень с землей и сторожками.

Схему расположения квадратов с обозначением их вершин и числовыми значениями результатов измерений изображают на специальном чертеже (абрисе). На нем на сторонах квадратов и по их диагоналям показывают стрелками направления однородных скатов.

Для выполнения нивелирования примерно в середине участка устанавливают нивелир, приводят в рабочее положение и берут отсчеты по рейке, которую ставят сначала на строительном репере (закрепленной точке с известной отметкой), затем на всех вершинах квадратов, заканчивая исходной точкой (репером). Расхождения начального и конечного отсчетов по рейке, установленной на репере не должны превышать 4-5мм. Отсчеты берут только по черной стороне рейки. Во время работы наблюдатель не должен забывать о необходимости тщательного приведения в нуль-пункт пузырька цилиндрического уровня перед каждым взятием отсчета по рейке.

Во избежание ошибок отсчеты целесообразно фиксировать на специально вычерченной схеме сетки квадратов, ориентированной на местности с указанными ближайшими объектами в ситуации. Параллельно отсчеты записывают в журнал нивелирования поверхности по квадратам (табл. 3.1.).

В журнале нивелирования отметки вершин квадратов вычисляют через горизонт прибора ГП. Для его определения к отметке репера прибавляют средний из отсчетов, взятых по рейке, установленной на репере в начале и конце нивелирования  $ГП = 15,708 + \frac{0,787 + 0,791}{2} = 16,497$  м.

Отметки вершин квадратов вычисляют по формуле 5.19, вычитая из горизонта прибора соответствующий отсчет по рейке. Например,  $НС1 = 16,497$  м — 1,463 м = 15,034 м.

Для построения плана на листе ватмана А4 в масштабе 1:200 вычерчивают аналогичную построенной на местности сетку квадратов, выписывают округленные до 0,01 м отметки точек и выполняют интерполирование горизонталей. Высоту сечения рельефа принимают равной 0,25 м (рис. 8).

Таблица 3.1.

### ЖУРНАЛ НИВЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

№ станции	№№ реперов и точек вершин квадратов	Отсчеты по рейкам, мм		Горизонт прибора, м	Отметки точек, м
		задние	промежуточные		
1	2	3	4	5	6
	Рп 87	0787			15,708
	A1		2123		14,374
	A2		1969		14,528
	A3		2003		14,494
	A4		2750		13,747

	A5		2894		13,603
	A6		2456		14,041
	B7		2014		14,483
	B6		2260		14,237
	B5		2432		14,065
	B4		2159		14,338
	B3		1965		14,532
	B2		2183		14,314
	B1		1977	16,497	14,520
1	C1		1463		15,034
	C2		2011		14,486
	C3		1923		14,574
	C4		1958		14,539
	C5		2117		14,380
	C6		2014		14,483
1	2	3	4	5	6
	C7		1896		14,651
	D7		1635		14,862
	D6		1943		14,554
	D5		1987		14,510
	D4		1816		14,681
	D3		1432		15,045
	D2		1791		14,706
	D1		1439		15,058
	E1		1117		15,386
	E2		1635		14,862
	E3		1286		15,211
	E4		1538		14,959
	E5		1728		14,769
	E6		1811		14,686
	E7		1542		14,955
	Рп87	0791			

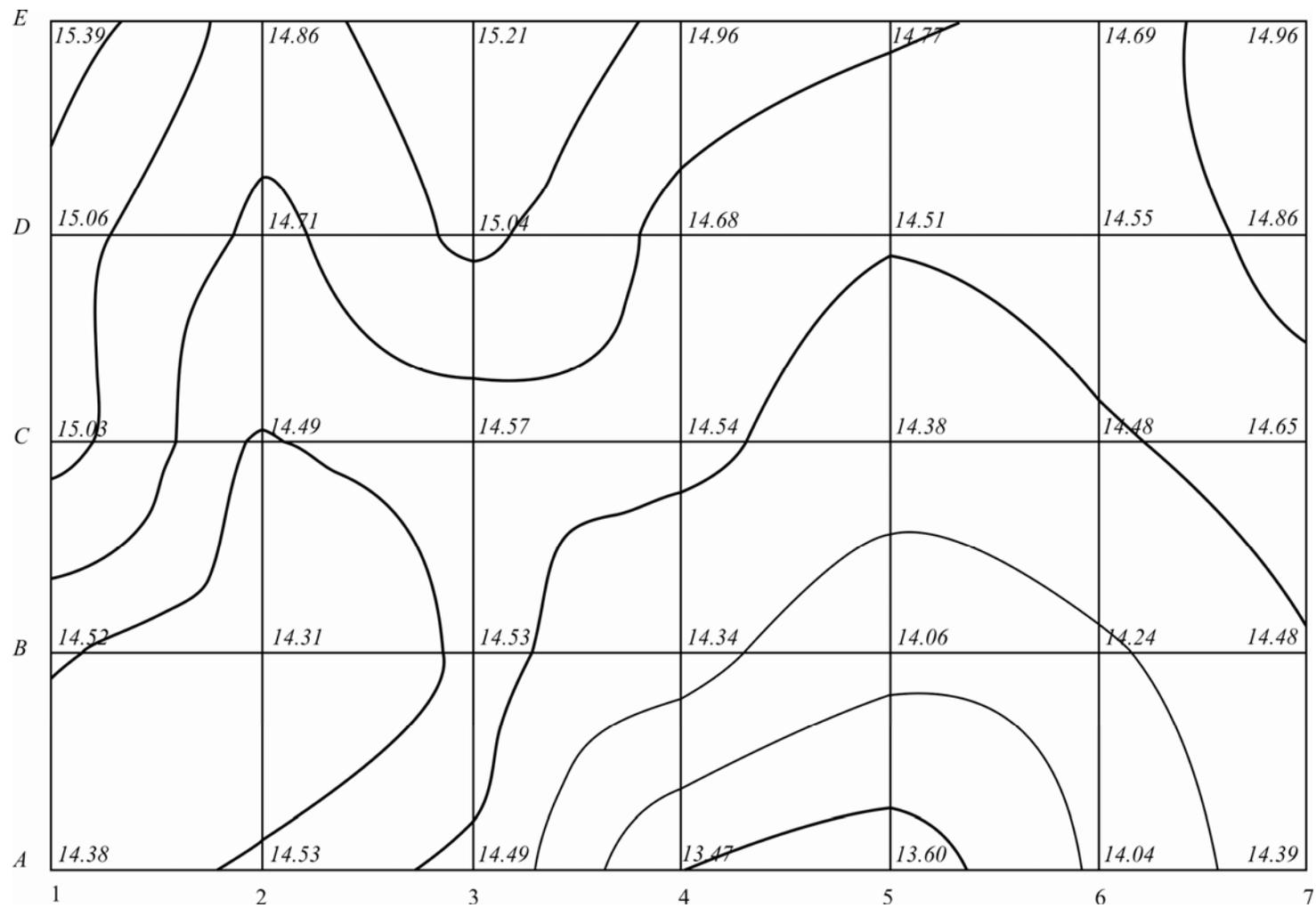


Рис. 8 План нивелирования участка по квадратам

### § 3.2. Составление проекта вертикальной планировки участка

Для проектирования горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ вычисляют среднюю отметку, являющуюся проектной по формуле:

$$H_{np.} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (3.1)$$

где  $\sum H_1$  — сумма отметок вершин, входящих только в один квадрат;

$\sum H_2$ ,  $\sum H_3$ ,  $\sum H_4$  — сумма отметок вершин, общих для соответственно двух, трех, четырех квадратов;

$n$  — число квадратов.

В приведенном ниже примере значение  $3\sum H_3$  отсутствует.

$$H_{np.} = \frac{58,71м + 2 \cdot 233,90м + 4 \cdot 217,43м}{4 \cdot 24} \approx 14,54м.$$

Затем вычисляют рабочие отметки вершин квадратов, являющихся высотой насыпи, если они имеют знак «+», или глубиной выемки при знаке «—».

$$h^p_i = H_{np.} - H^{\phi}_i, \quad (3.2)$$

где  $H_{np.}$  — величина средней (проектной) отметки площадки;  $H^{\phi}_i$  — фактическая отметка конкретной вершины квадрата.

Рабочие отметки могут быть как положительными, так и отрицательными. Квадраты, в которых рабочие отметки вершин имеют одинаковые знаки, называются однородными, разные — смешанными. Через смешанные квадраты проходят линии нулевых работ, разделяющие участки насыпи и выемки.

Расстояние до точек нулевых работ между вершинами квадрата с рабочими отметками разного знака определяют по формуле:

$$\ell = \frac{|h^r_1|}{|h^r_1| + |h^r_2|} d, \quad (3.3)$$

где  $\ell$  — расстояние до точки нулевых работ от вершины квадрата с рабочей отметкой  $h^r_1$ ;  $d$  — длина стороны квадрата.

Используя полученные результаты расчетов, на плане вычерчивают картограмму земляных работ, на которой выписывают фактические отметки земли (черной тушью), рабочие отметки (красной тушью), расстояния до точек нулевых работ (синей тушью) и наносят линию нулевых работ (синей тушью). На картограмме (рис. 9) линия нулевых работ показана пунктиром. Кроме того, на картограмме пишут номера фигур (в кружке диаметром 7мм). Площади выемок на картограмме штрихуют черной тушью или окрашивают красным цветом.

Вычисление объемов земляных работ можно выполнять упрощенным способом. Если все четыре вершины квадрата имеют рабочие отметки одного знака (в однородном квадрате), то объем земляных работ вычисляют по формуле:

$$V = d^2 \frac{h'_{r1} + h'_{r2} + h'_{r3} + h'_{r4}}{4}, \quad (3.4)$$

где  $d$  — длина стороны квадрата;  $h'_{r1}$ ;  $h'_{r2}$ ;  $h'_{r3}$ ;  $h'_{r4}$  — рабочие отметки вершин квадрата.

Например, объем земляных работ в угловом северо-восточном квадрате будет составлять:

$$V = 25 \cdot \frac{(-0,15) + (-0,42) + (-0,01) + (-0,32)}{4} = 25 \cdot (-0,225) = -5,62 \text{ м}^3$$

Знак определяет вид земляных работ: «-» — выемка, «+» — насыпь.

Для подсчета объемов земляных работ в смешанных квадратах с рабочими отметками, имеющими разные знаки, эти квадраты разделяют по линии нулевых работ на фигуры с проектируемой насыпью (рабочая отметка положительна) и выемкой (отрицательна). Фигуры могут иметь форму треугольников, трапеций или пятиугольников. Объем земляных работ ( $V$ ) в каждой фигуре равен произведению ее площади ( $S$ ) на среднюю рабочую отметку ( $h_{\text{ср.}}$ ), которую вычисляют делением суммы рабочих отметок всех точек на их количество, включая и точки нулевых работ.

$$h_{\text{ср.}} = \frac{\sum h_i}{n}. \quad (3.5)$$

$$V = S \cdot h_{\text{ср.}} \quad (3.6)$$

Если фигура имеет форму трапеции, то ее площадь равна произведению полусуммы оснований на высоту, средняя рабочая отметка — частному от деления суммы рабочих отметок на 4. Величины длин оснований трапеций равны соответствующим расстояниям до точек нулевых работ, высоты — сторонам квадрата.

Пример. Площадь фигуры 11 составляет

$$S_{11} = \frac{3,86 + 4,72}{2} \cdot 5 = 21,45 \text{ м}^2,$$

средняя рабочая отметка равна

$$h_{\text{ср.}} = \frac{-0,11 + (-0,50) + 0 + 0}{4} = -0,1675 \text{ м},$$

объем земляных масс составляет

$$V_{11} = S_{11} \cdot h_{\text{ср.}} = 21,45 \text{ м}^2 \cdot (-0,1675) = -3,59 \text{ м}^3 \text{ (выемки)}.$$

Площадь фигуры 20 (прямоугольного треугольника) равна половине произведения катетов (соответствующих расстояний до точек нулевых работ)

$$S_{20} = \frac{1,76 \cdot 4,29}{2} = 3,78 \text{ м}^2;$$

средняя рабочая отметка получается равной

$$h_{20\text{cp}} = \frac{0,06 + 0 + 0}{3} + 0,02 \text{ м}.$$

Объем земляных масс составляет

$$V_{20} = 3,78 \text{ м}^2 \cdot 0,02 \text{ м} = 0,08 \text{ м}^3 \text{ (насыпи)}.$$

Фигура 19 является пятиугольником. Для вычисления объема земляных масс ее нужно или разделить на треугольники и выполнить вычисления по вышеизложенной методике, или сделать упрощенные расчеты:

$$S_{19} = S_{\text{квадрата}} - S_{20} = 25,00 \text{ м}^2 - 3,78 \text{ м}^2 = 21,22 \text{ м}^2;$$

$$h_{19\text{cp}} = \frac{-0,01 + (-0,32) + (-0,11) + 0 + 0}{4} = -0,11 \text{ м};$$

$$V_{19} = 21,22 \text{ м}^2 \cdot (-0,11 \text{ м}) = -2,33 \text{ м}^3 \text{ (выемки)}.$$

После завершения вычисления объемов земляных работ во всех фигурах для контроля подсчитывают сумму площадей фигур, которая должна быть равна площади всего участка ( $20 \text{ м} \times 30 \text{ м} = 600 \text{ м}^2$ ). Суммы объемов земляных работ насыпи и выемки должны быть приблизительно равны.

Точность определения общего объема земляных работ вычисляют по формуле:

$$f_v = \frac{|\sum V_H - \sum V_B|}{\sum V_H + \sum V_B} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

где  $\sum V_H$  — сумма объемов насыпи всех фигур,  $\sum V_B$  — сумма объемов выемки всех фигур.

Все данные заносят в ведомость вычисления объемов земляных работ (табл. 3.2).

*Примечание.* В графе «объем земляных работ» у числовых значений выемки знак «-» не ставится.

Таблица 3.2.

**ВЕДОМОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

НАСЫПЬ				ВЫЕМКА			
№ фигуры	Площадь фигуры, м <sup>2</sup>	Средняя рабочая отметка, м	Объем земляных работ, м <sup>3</sup>	№ фигуры	Площадь фигуры, м <sup>2</sup>	Средняя рабочая отметка, м	Объем земляных работ, м <sup>3</sup>
5	0,26	0,010	0,00	1	25,00	- 0,4650	11,62
7	1,00	0,010	0,01	2	25,00	- 0,4150	10,38
10	0,26	0,005	0,01	3	25,00	- 0,4325	10,81
12	3,55	0,020	0,07	4	24,74	- 0,2050	5,07
14	0,70	0,010	0,01	6	24,00	- 0,0975	2,34
16	14,70	0,0475	0,70	8	25,00	- 0,2250	5,62
17	24,56	0,0625	1,54	9	24,74	- 0,2950	7,30
20	3,78	0,020	0,08	11	21,45	- 1675	3,59
22	14,10	0,0625	0,88	13	24,30	- 0,1600	3,89
23	25,00	0,080	2,00	15	10,30	- 0,0467	0,48
24	25,00	0,060	1,50	18	0,44	- 0,0033	0,00
25	25,00	0,210	5,25	19	21,22	- 0,1100	2,33
26	25,00	0,250	0,25	21	10,90	- 0,1633	1,78
27	19,75	0,105	2,807	28	5,25	- 0,0367	0,19
29	25,00	0,1325	3,31				
30	25,	0,075	1,88				
31	25,00	0,2625	6,56				
32	25,00	0,6025	15,06				
33	25,00	0,5550	13,88				
34	25,00	0,2525	6,31				
	Σ332,66		Σ67,37		Σ267,34		Σ65,40

$$\text{Собщ.} = 332\text{м}^2 + 267,34\text{м}^2 = 600\text{м}^2$$

$$f_v = \frac{|\sum V_H - \sum V_B|}{\sum V_H + \sum V_B} \cdot 100\% = \frac{67,37 - 67,40}{67,37 + 65,40} \cdot 100\% = \frac{1,97}{132,77} \cdot 100\% = 1,48\% \leq 3\%$$

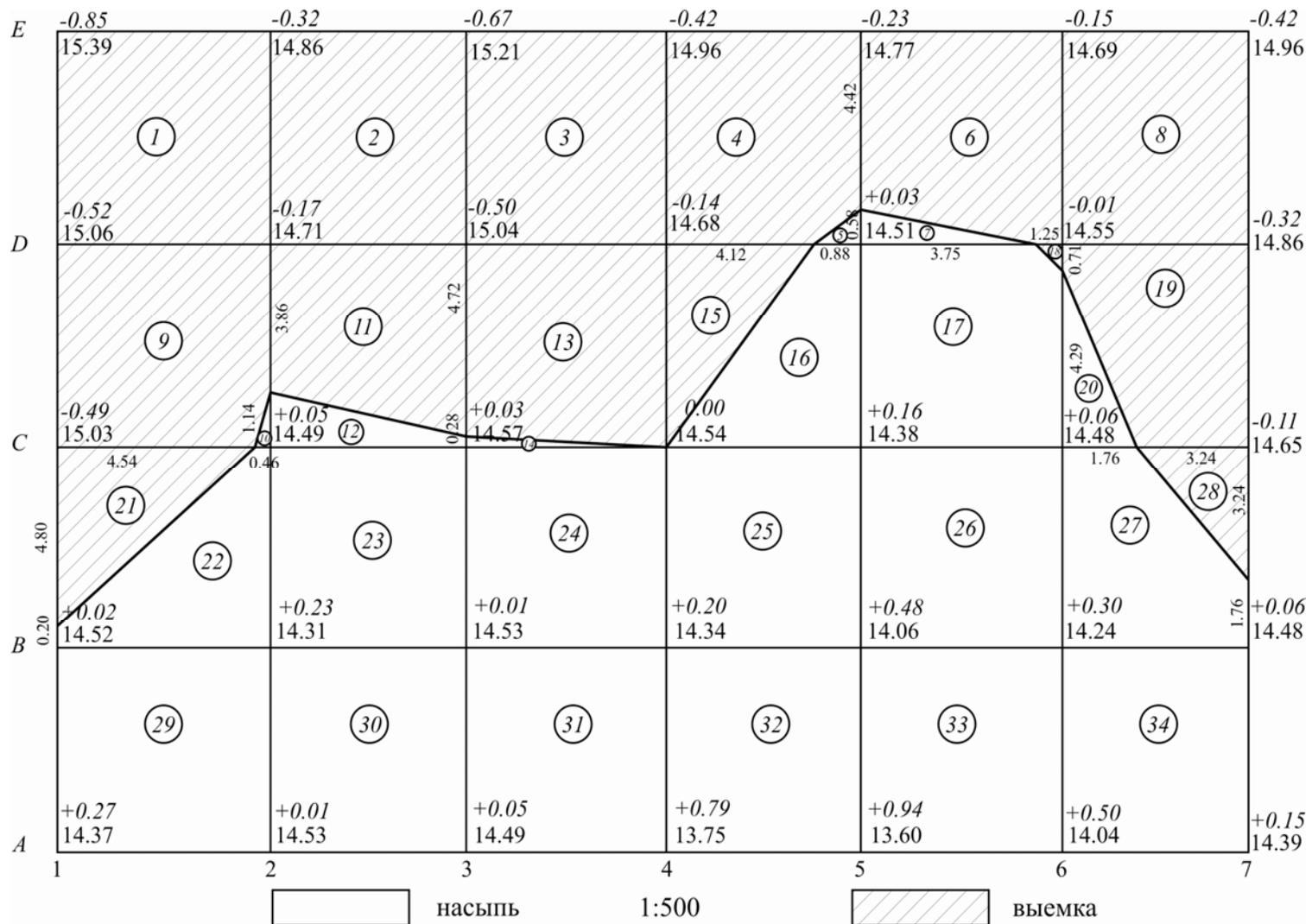


Рис. 9 Картограмма земляных работ

## Глава 4. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

### § 4.1. Общие положения

*Тахеометрическая съемка* — совместная плановая и высотная съемка местности, по материалам которой составляют топографический план участка с изображением и ситуации, и рельефа. При ее выполнении все необходимые измерения для определения пространственного положения точки местности выполняются комплексно одним прибором (теодолитом — тахеометром) при одном наведении зрительной трубы на рейку, установленную в заданной точке. В результате фиксируют дальномерное расстояние, отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита. По ним вычисляют данные, определяющие плановое и высотное расположение точки. Плановое положение точки определяется методом полярных координат, высотное — методом тригонометрического нивелирования.

В состав полевых работ входит создание съемочного обоснования и непосредственное выполнение тахеометрической съемки местности. Съемку характерных точек ситуации выполняют с пунктов тахеометрического хода.

### § 4.2. Создание съемочного обоснования

Точки тахеометрического хода выбирают так, чтобы с них были видны вехи и рейки, установленные на смежных точках. Точки закрепляют деревянными колышками, длиной 10—12, диаметром 3—4 см, вбитыми до уровня земли, рядом с которыми забивают сторожки — колышки, возвышающиеся над поверхностью земли на 15—20 см. На боковой поверхности сторожка пишут номер станции. Нумерацию точек выполняют по ходу часовой стрелки.

В тахеометрическом ходе горизонтальные углы измеряют техническим теодолитом полным приемом с использованием вешек или шпилек (при коротких расстояниях). Допустимую угловую невязку вычисляют также, как и в теодолитном ходе. Наклонное расстояние ( $D$ ) определяют нитяным дальномером дважды в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение должно быть в пределах  $1/400$ . Аналогично теодолитной съемке выполняют и обработку ведомости координат, но относительная ошибка сумм приращений координат может быть значительно больше (не должна превышать  $1:400$ ).

Для вычислений превышений между точками тахеометрического хода измеряют расстояния и определяют углы наклона. На каждой станции работу выполняют с контролем — вычислением места нуля, которое для данного прибора должно быть постоянным и определением вертикальных углов дважды — в прямом и обратном направлениях. Углы, различаясь по знаку,

должны иметь равные численные значения (расхождение не более 1'). Место нуля (МО) определяют по формуле:

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2}, \quad (4.1)$$

где КЛ — отсчет по вертикальному кругу при его положении от зрительной трубы слева, КП — справа.

Для вычисления угла наклона используют формулу:

$$\nu = \text{КЛ} - \text{МО}, \quad (4.2)$$

Затем вычисляют горизонтальное расстояние ( $d$ )

$$d = D \cdot \cos^2 \nu, \quad (4.3)$$

где  $D$  — измеренное нитяным дальномером наклонное расстояние.

При углах наклона меньше 2 градусов вычисления упрощаются

$$d \approx D. \quad (4.4)$$

Превышение определяют методом тригонометрического нивелирования (рис.10). Сначала вычисляют табличное превышение

$$h' = d \cdot \text{tg} \nu', \quad (4.5)$$

затем истинное превышение между точками

$$h = h' + \text{ВП} - l = d \text{tg} \nu + \text{ВП} - l, \quad (4.6)$$

где ВП — высота прибора (от торца колышка, вбитого до уровня поверхности земли до оси вращения зрительной трубы);  $l$  — расстояние от пятки рейки до деления, на которое навели горизонтальную линию сетки нитей.

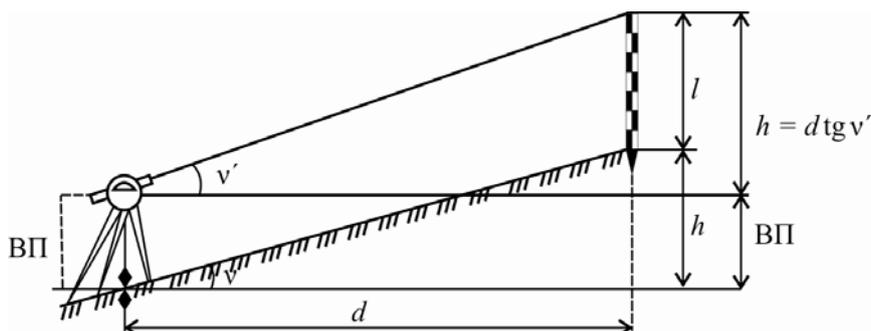


Рис. 10. Тригонометрическое нивелирование.

При наведении визирной оси трубы на деление рейки, равное высоте прибора ВП, формула вычисления превышения упрощается, принимая вид

$$h = d \text{tg} \nu. \quad (4.7)$$

Превышения между точками тахеометрического хода определяют так же, как и расстояния дважды в прямом и обратном направлениях. Расхождения в превышениях не должны превышать 0,04м на 100м длины отрезка линии.

Сумма всех превышений замкнутого тахеометрического хода должна быть равна нулю. Фактическая ее величина является невязкой хода. Допустимую невязку вычисляют по формуле:

$$f_{h \text{ доп.}} = \pm \frac{0,04 \text{ м} \cdot P}{\sqrt{n}}, \quad (4.8)$$

где  $P$  — периметр хода в сотнях метров,  $n$  — число сторон хода.

Измерение горизонтальных углов и магнитного азимута одной из линий тахеометрического хода выполняют также как и при теодолитной съемке.

Полученные исходные данные и результаты вычислений заносят в журнал измерения горизонтальных углов и сторон тахеометрического хода, аналогичный приведенному в табл. 1.1. журнала измерения углов и сторон теодолитного хода.

Если невязка не превышает допуска, то в превышения вводят поправки, вычисленные по формуле:

$$\delta_h = \frac{-f_h}{P} \cdot d_i, \quad (4.9)$$

где  $f_h$  — невязка хода,  $P$  — периметр хода,  $d_i$  — горизонтальное проложение стороны хода. Сумма поправок должна быть равна величине невязки, взятой с обратным знаком, их численные значения — пропорциональны длинам сторон. Затем вычисляют высоты всех станций, прибавляя к отметке предыдущей станции соответствующее уравненное превышение. Отметку исходной станции (точки № 1) задает преподаватель.

Результаты измерений и вычислений заносят в журнал превышений уравнивания и вычисления высот точек тахеометрического хода (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

**Ведомость уравнивания превышений и вычисления высот точек тахеометрического хода**

№ точки	Сторона хода	Горизонтальное проложение, м	Превышения, м					Высота точек хода
			прямые	обратные	средние	поправка	уравненные	
1	1-2	53,8	-2,71	+2,69	-2,70		-2,70	40,24
2								37,54
3	2-3	64,5	-0,23	+0,24	-0,24	-0,01	-0,25	37,29
	3-1	73,3	+2,96	-2,96	+2,96	-0,01	+2,95	40,24
		Σ191,6			Σ+0,02	Σ-0,02	Σ0,00	

$$f_{\text{доп}} = \pm \frac{0,04 \cdot P}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,04 \cdot 1,9}{\sqrt{3}} = \pm 0,04 \text{ м}$$

### § 4.3. Съёмка ситуации и рельефа

После установки теодолита-тахеометра на станции, центрирования его и приведения в рабочее положение ориентируют лимб горизонтального круга по направлению на одну из соседних точек хода. Для этого совмещают нули лимба и алидады горизонтального круга (при закреплённом лимбе вращают алидаду сначала «от руки» до получения отсчёта близкого  $0^\circ$ ), затем затянув закрепительный винт алидады, вращением её наводящего винта устанавливают отсчёт  $0^\circ 00'$ . После этого открепляют лимб и выполняя аналогичные действия его закрепительным и наводящим винтами и наводят перекрестие сетки нитей трубы на низ вехи установленной на соседней станции. При этом отсчёт по горизонтальному кругу должен остаться равным  $0^\circ 00'$ .

При съёмке ситуации и рельефа местности наводят зрительную трубу на рейку, установленную в характерных точках местности, берут отсчёты по горизонтальному и вертикальному кругу тахеометра и определяют расстояние нитяным дальномером. При этом, лимб горизонтального круга должен быть неподвижен. Поэтому работают только закрепительными и наводящими винтами алидады и зрительной трубы. При отсутствии препятствий перекрестие сетки нитей наводят на цветную ленточку, привязанную на рейке на уровне высоты прибора. Если это невозможно (между станцией и речной точкой растёт кустарник или имеется возвышение рельефа, закрывающие ленточку) горизонтальную нить сетки наводят на верх рейки, обязательно отмечая это в графе журнала «высота визирования» (3.00 м).

Для упрощения вычисления расстояний с использованием нитяного дальмера можно верхнюю дальномерную нить устанавливать на ближайший отсчёт кратный целому количеству дециметров. Тогда вычитаемое будет круглым числом и разницу отсчётов, и, как следствие, дальномерное расстояние можно будет вычислить без микрокалькулятора. При этом не следует забывать, что перед взятием отсчёта по вертикальному кругу средняя нить сетки должна быть возвращена в исходное положение (наведена на ленточку, а если это невозможно – на верх рейки).

Для контроля неподвижности лимба на каждой станции съёмку ситуации и рельефа на станции завершают визированием на веху, установленную на исходной точке тахеометрического хода. Отсчёт по горизонтальному кругу должен быть  $0^\circ 00'$  или отличаться не более чем на 1 — 2 минуты. При большом количестве речных точек эту контрольную операцию целесообразно проводить после съёмки каждых 10-15 точек. Все результаты измерений по определению планово-высотного положения точек записывают в специальный полевой журнал тахеометрической съёмки (табл. 4.2).

В журнале номера станций (точек тахеометрического хода) пишут римскими цифрами, пикетных (речных) точек — арабскими. Нумерация речных точек — сквозная (единая для всего участка съёмки). В полевых условиях заполняют графы 1,2,3,4,8,11. В графе 8 фиксируют высоту

Таблица 4.2

## Журнал тахеометрической съемки

№ ре- еч- ной точки	Дально- мерное расстоя- ние $D$ , м	Отсчеты по		Угол наклона $v$	Горизон- тальное про- ложение $d =$ $D \cdot \cos v$ , м	Табличное превышение $h' = d \cdot \operatorname{tg} v$ , м	Высота визиро- вания $l$ , м	Превыше- ние $h = h' + \text{ВП} -$ $l$ , м	Отметка $H = H_{\text{ст}} + h$ , м	Примечание
		горизон- тальному кругу	верти- кальному кругу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Станция П77 ВП = 1,49м МО = 0°02' $H_{\text{ст}} = 118,00$										
Ст. I		0°00'								
Отсчеты на речные точки взяты при КЛ										
1	38,1	0°30'	- 1°58'	- 2°00'	63,1	-1,16	1,49	-1,16	116,84	Рельеф
2	371,5	0°00'	- 1°48'	- 1°50'	71,5	-2,29	1,49	-2,29	115,71	Забор
3	106,1	20°30'	- 1°22'	- 1°24'	106,1	-2,59	1,49	-2,59	115,41	Рельеф
4	80,5	42°10'	- 1°12'	- 1°14'	80,5	-1,73	1,49	-1,73	116,27	Рельеф
5	72,5	52°55'	- 1°25'	- 1°27'	72,5		1,49			Дерево
6	46,8	75°10'	- 1°48'	- 1°50'	46,8		1,49			Рельеф
7	87,4	76°02'	- 1°45'	- 1°47'	87,4		1,49			РЕЛЬЕФ
Станция II ВП = 1,45м МО = 0°02' $H_{\text{ст}} = 114,70$										
Отсчеты на речные точки взяты при КЛ										
Ст. III		0°00'								
8	36,8	359°30'	+0°05'	+0°03'	36,8	+0,03	1,45	+0,03	114,73	Забор
9	82,5	0°30'	0°00'	-0°02'	82,5	-0,05	1,45	-0,05	114,65	Рельеф
10	53,1	33°20'	+2°43'	+2°41'	53,0	+2,48	3,00	+0,93	115,63	Дерево
11	55,2	72°05'	+0°38'	+0°36'	55,2	+0,58	1,45	+0,58	115,28	Рельеф
12	72,1	74°00'	+0°14'				1,45			Рельеф

наведения перекрестия сетки нитей зрительной трубы, обычно равную высоте прибора или 3 м (при наведении на верх рейки). В графе 11 (примечание) выписывают характеристику положения реечной точки на местности, например: «тропа», «дерево», «опора ЛЭП», «угол дома». Если назначением наведения зрительной трубы на рейку, установленную в точке местности, является только определение ее высоты, пишется слово «рельеф».

При съемке рельефа реечные точки должны находиться:

- а) на вершинах, по водоразделам и подошвах выпуклых форм рельефа;
- б) по водоразделам;
- в) в местах изменения крутизны скатов;
- г) на седловинах;
- д) на дне, тальвегах (водотоках) и бровках ложбин, оврагов и карьеров.

Среднее расстояние между пикетами съемки должно соответствовать 2 см на плане заданного масштаба. Для масштаба 1:500 оно примерно равно 10м, 1:1000 – 20м и т.д.

Работой руководит записатор, заполняющий журнал тахеометрической съемки и составляющий абрис.

На абрисе тахеометрической съемки схематически указывают расположение реечных (пикетных) точек, обозначают контуры и предметы местности, показывают стрелками направления скатов между пикетами, по которым на плане будет выполняться интерполирование горизонталей. Точки наносят на глаз без точного соблюдения масштаба. Абрис составляют в карандаше на листе плотной бумаги отдельно для каждого участка, снятого с определенной станции. Вид ситуации характеризуют условными знаками или краткими поясняющими надписями. В отличие от абриса теодолитной съемки при тахеометрической съемке на схематическом чертеже никакие размеры не указывают, но обязательно проставляют номера реечных точек.

В журнале тахеометрической съемки фиксируют весь материал, полученный в результате геодезических наблюдений. Ведение записей на черновиках не допускается. После обработки журнала по его данным с использованием абриса составляют топографический план участка местности.

На этом плане по координатам с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки наносят точки тахеометрического хода, затем используя геодезический транспортир или тахеограф — реечные точки. Около каждой точки справа пишут ее номер и высоту. Затем выполняют интерполирование горизонталей.

Для обеспечения возможности последующего контроля правильности построения плана, все реечные точки с их номерами копируют на прозрачную бумагу — кальку высот. При окончательном оформлении плана тушью номера реечных точек на нем не проставляют.

## Глава 5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ

### § 5.1. Построение проектного отрезка линии

По генеральному плану или в результате решения обратной геодезической задачи определяют значение горизонтального проложения проектной линии,  $d$ . Соответствующее этому горизонтальному проложению расстояние  $D$  на склоне, оказывается больше (рис. 11).

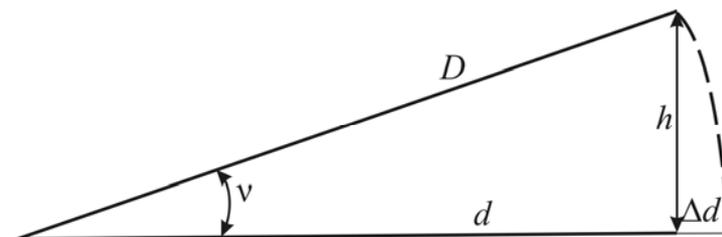


Рис.11. Построение на местности длины линии при ее известном горизонтальном проложении

Если известна крутизна склона  $v$ , то

$$D = \frac{d}{\cos v} \quad (5.1.)$$

При известном превышении  $h$  между начальной и конечной точками отрезка линии (его можно определить по горизонталям плана) наклонное расстояние вычисляют по формуле

$$D = d + \frac{h^2}{2d} \quad (5.2.)$$

Вычисленное расстояние  $D$  откладывают на местности с помощью мерной ленты или рулетки с учетом поправок на компарирование, температуру и натяжение мерного прибора.

### § 5.2. Построение проектного горизонтального угла

1. *С точностью имеющегося теодолита.* Над вершиной угла (точкой  $O$ ) устанавливают теодолит, центрируют его и приводят в рабочее положение. Затем совмещают нулевые деления лимба и алидады горизонтального круга (устанавливают отсчет по горизонтальному кругу  $0^\circ 00'$ ) и ориентируют лимб по исходному направлению  $OB$  (при закрепленной алидаде открепляют лимб и наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на низ вехи, установленной в точке  $B$ ). Закрепляют лимб, открепляют алидаду и вращением прибора (сначала от руки, а затем наводящим винтом алидады) устанавливают на горизонтальном круге отсчет, равный величине заданного проектного уг-

ла  $\beta$ . В створе полученного направления визирного луча зрительной трубы ставят веху в точке  $C_1$ .

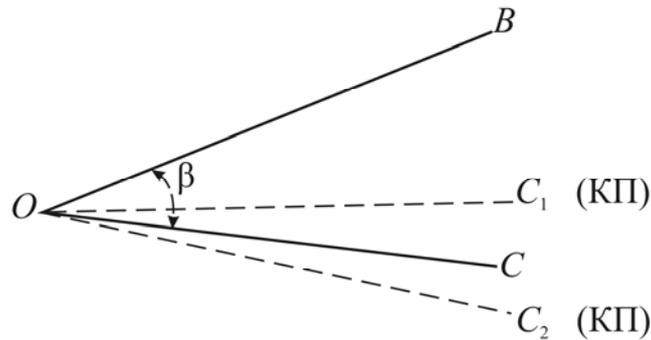


Рис. 12. Построение на местности проектного горизонтального угла с точностью имеющегося теодолита

После этого выполняют аналогичные действия при другом положении вертикального круга. В случае отклонения положения полученной точки  $C_2$  от точки  $C_1$  (рис. 12) правильное направление будет посередине между ними (точка  $C$ ).

2. С повышенной точностью способом редуцирования. Вышеизложенным способом строят проектный угол при одном положении вертикального круга. Построенный угол измеряют количеством полных приемов  $n$ , вычисленным по формуле

$$n = \frac{t^2}{m_\beta^2}, \quad (5.3.)$$

где  $t$  — точность теодолита;  $m_\beta$  — необходимая точность построения угла.

Вычисляют среднюю величину угла  $\beta_{\text{ср}}$  и отклонение среднего значения измеренного угла от проектного значения  $\beta_{\text{пр}}$ :

$$\Delta\beta = \beta_{\text{ср}} - \beta_{\text{пр}}. \quad (5.4.)$$

Если отклонение имеет знак «+», то построенный угол больше проектного (рис. 13), если знак «-», то меньше.

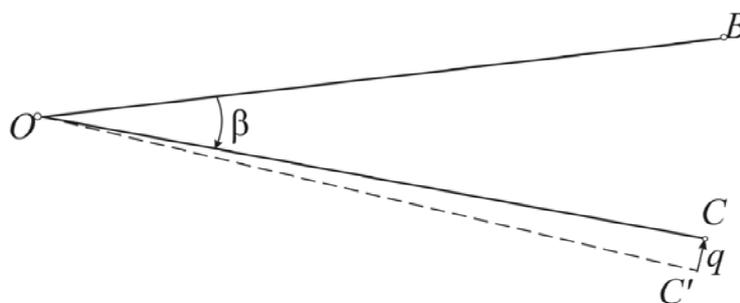


Рис.13. Построение проектного угла с повышенной точностью

Величину необходимого смещения точки  $C'$  вычисляют по формуле:

$$q = \frac{\Delta\beta'' d}{\rho''}, \quad (5.5.)$$

где  $d$  — горизонтальное проложение от вершины угла до точки  $C'$ ;  $\rho$  — величина радиана (206 265").

*Пример:*

Горизонтальное проложение  $d$  линии  $OC$  — 50 м (50 000 мм), точность отсчетного устройства теодолита 4Т30 составляет 30". Заданная точность построения угла  $m\beta$  равна 10". Величина проектного угла  $16^\circ 25' 40''$ . При построении проектного угла после совмещения нулевого деления лимба с исходным направлением открепили алидаду и поворачивая ее установили отсчет близкий к  $16^\circ$ . Затем вращением наводящего винта алидады установили ближайший к значению проектного угла отсчет, возможной у теодолита данной точности ( $16^\circ 25,5'$ ). Необходимое число приемов измерений построенного угла  $n = \frac{30^2}{10^2} = 9$ . При измерении угла девятью полными приемами

получили значения: в первом приеме  $16^\circ 25'$ , во втором  $16^\circ 25,5'$ , в третьем  $16^\circ 25'$ , в четвертом  $16^\circ 25,5'$ , в пятом  $16^\circ 26'$ , в шестом  $16^\circ 25'$ , в седьмом  $16^\circ 25'$ , в восьмом  $16^\circ 26'$ , в девятом  $16^\circ 25,5'$ . Среднее значение равно  $16^\circ 25,39' \approx 16^\circ 25' 23''$ ,  $\Delta\beta = 16^\circ 25' 23'' - 16^\circ 25' 40'' = -0^\circ 00' 17''$ , тогда  $q = \frac{17'' \cdot 50000 \text{ мм}}{206265''} = 4,1 \text{ мм}$ .

Поскольку  $\Delta\beta$  имеет знак « $\rightarrow$ » (построенный полуприемом угол больше проектного), необходимо сместить найденную точку в сторону точки  $B$  на 4 мм.

### § 5.3. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой

Определение положения точки с заданной отметкой производят от ближайшего строительного репера. Для этого в середине между репером (точка  $A$ ) и проектной точкой сооружения  $B$  устанавливают нивелир, приводят его в рабочее положение, ставят рейку на репер и берут по ней отсчет  $a$  (рис.14). Вычисляют значение горизонта прибора ГП:

$$\text{ГП} = HA + a. \quad (5.6.)$$

Отсчет  $b$ , при котором пятка рейки, установленной в точке  $B$ , будет находиться на проектной высоте:

$$b = \text{ГП} - H_{пр}. \quad (5.7.)$$

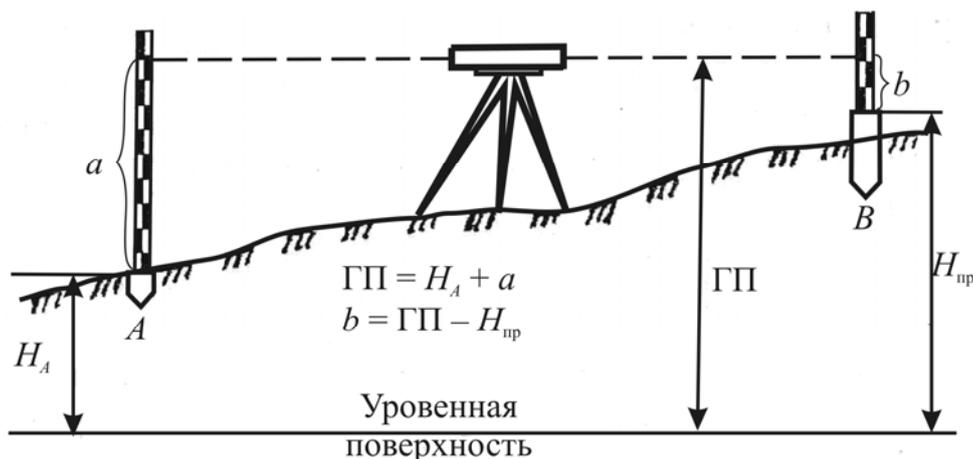


Рис. 14. Перенесение на местность точки с заданной проектной отметкой

*Примечание: При выполнении вычислений значения отметки репера и проектной отметки подставляют в формуле в мм.*

В точке *B* забивают колышек, устанавливают на него рейку и берут отсчет. Если он меньше вычисленного, то колышек заглубляют до получения отсчета, равного расчетному. При отсчете больше вычисленного необходим более высокий колышек.

Для контроля работу выполняют при двух горизонтах прибора или используют двусторонние рейки. Расхождение не должно превышать 5 мм.

*Пример:*  $H_A = 42,173$  м;  $H_{пр.} = 43,832$  м;  $a_{ч.} = 2114$  мм;  $a_{кр.} = 6800$  мм;  
 $вч. = H_A + a - H_{пр.} = 42173 \text{ мм} + 2114 \text{ мм} - 43832 \text{ мм} = 0455 \text{ мм};$   
 $вкр. = 42173 \text{ мм} + 6800 \text{ мм} - 43832 \text{ мм} = 5141 \text{ мм}.$

При взятии отсчета по рейке установленной на забитом колышке в точке *B* отсчет получился равный 5140 мм. Расхождение 1 мм (меньше допустимого равного 5 мм), условие выполнено.

#### § 5.4. Передача проектной отметки на дно котлована

При глубине котлована превышающего длину рейки или близкого к ней вблизи его бровке устанавливают кронштейн, на который подвешивают рулетку. Между строительным репером и рулеткой устанавливают нивелир, приводят его в рабочее положение и берут отсчеты по рейке *a*, установленной на репере и рулетке *m* (рис. 15). Затем устанавливают нивелир на дне котлована и берут отсчет по рулетке *n*. Вычисляют отсчет по рейке *b*, при котором ее пятка будет находиться на проектной высоте, по формуле

$$b = H_{рп} + a - (n - m) - H_{пр.} \quad (5.8.)$$

*Примечание. При выполнении вычислений значения отметки репера и проектной отметки подставляют в формулу в мм.*

Пример:  $H_{Pn} = 46,432$  м;  $H_{np} = 43,894$  м;

$a = 1683$  мм;  $m = 0324$  мм;  $n = 3897$  мм;

$b = 46432$  мм +  $1683$  мм — ( $3897$  мм —  $0324$  мм) —  $43894$  мм =  $0648$  мм

Затем в грунт на дне котлована забивают колышек, как было описано в предыдущем пункте. Аналогично для контроля отсчеты берут дважды по черной и красной сторонам рейки.

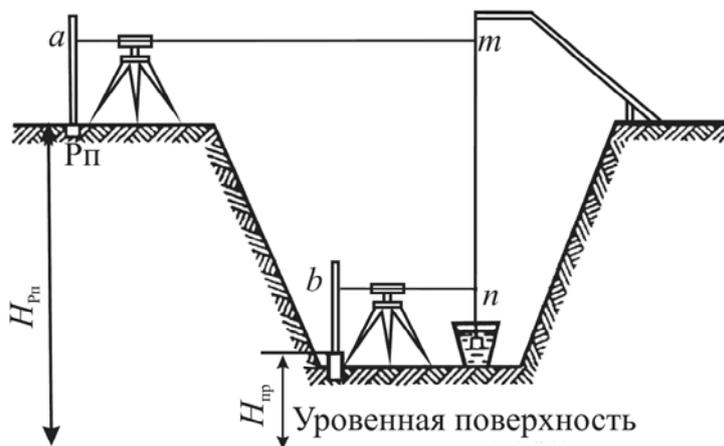


Рис 15. Перенесение отметки на дно котлована

### § 5.5. Построение на местности линии с запроектированным уклоном

Для построения отрезка линии с заданным проектным уклоном с помощью горизонтального луча визирования расстояние между его начальной и конечной точками делят на отрезки  $d$ , концы которых закрепляют. Нивелир устанавливают примерно посередине линии так, чтобы расстояние до ближайшей закрепленной точки было не менее 3 м. Снимают отсчет  $a$  по черной стороне рейки, установленной на забитом до проектной высоты колышке в начальной точке линии  $A$  (рис. 16).

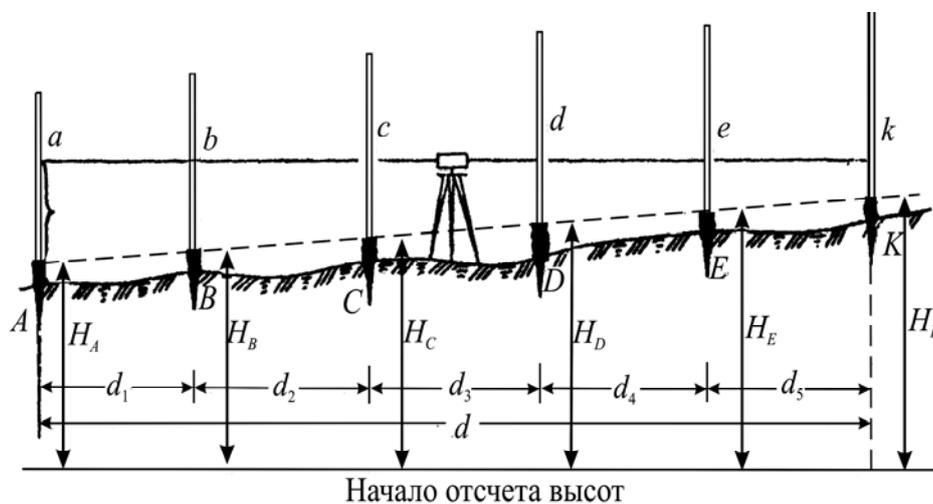


Рис. 16. Построение наклонной линии горизонтальным лучом

Затем вычисляют отсчеты по рейке, которые должны быть при положении ее пятки на проектной высоте в точках *B, C, D, E, K* по приведенным ниже формулам:

$$b = a - id; \quad (5.9.)$$

$$c = a - i(d1 + d2); \quad (5.10.)$$

$$d = a - i(d1 + d2 + d3); \quad (5.11.)$$

$$e = a - i(d1 + d2 + d3 + d4); \quad (5.12.)$$

$$k = a - i(d1 + d2 + d3 + d4 + d5). \quad (5.13.)$$

*Примечание.* Значения длин отрезков *d* подставляют в формулы в мм.

Забивку колышков до высоты точек проектной линии выполняют изложенным выше методом.

*Пример:*  $a = 2638$  мм;  $d1 = 5,00$  м;  $d2 = 6,00$  м;  $d3 = 5,50$  м;  $d4 = 6,00$  м;

$i = 0,017$ ;

$b = 2638$  мм —  $0,017 \times 5000$  мм =  $2553$  мм;

$c = 2638$  мм —  $0,017 \times (5000$  мм +  $6000$  мм) =  $2451$  мм;

$d = 2638$  мм —  $0,017 \times (5000$  мм +  $6000$  мм +  $5500$  мм) =  $2358$  мм;

и т.д.

## **§ 5.6. Разбивка главных точек круговой кривой и детальная разбивка ее способами прямоугольных координат**

*Разбивка главных точек круговой кривой и вычисление их пикетажных значений.*

В местах поворота трассы большинства линейных сооружений устраивают закругления. При этом закрепляют главные точки кривой: начало (НК), конец (КК) и середину кривой (СК). Для определения их положения измеряют горизонтальный угол  $\beta$  между предыдущей и последующей линиями (рис. 17) и вычисляют угол поворота трассы  $\theta$ :

$$\theta = 180^\circ - \beta. \quad (5.14.)$$

Значения основных элементов кривой вычисляют по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (5.15.)$$

где  $T$  — величина тангенса,  $R$  — величина радиуса круговой кривой;

$$K = \frac{\pi R \theta}{180^\circ}, \quad (5.16.)$$

где  $K$  — длина круговой кривой;

$$B = \frac{R}{\cos \frac{\theta}{2}} - R, \quad (5.17.)$$

где  $B$  — величина биссектрисы;

$$D = 2T - K, \quad (5.18.)$$

где  $D$  — величина домера.

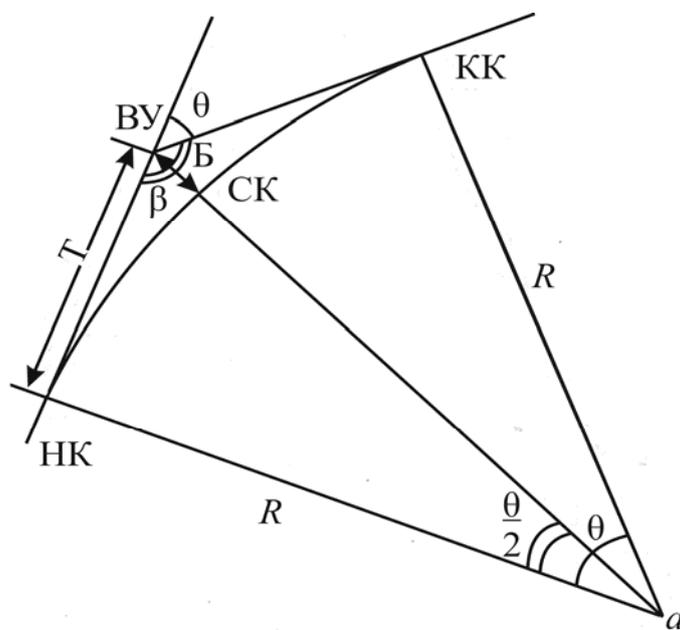


Рис. 17. Схема разбивки круговой кривой

Величина радиуса  $R$  круговой кривой определяется категорией сооружения (берется из соответствующего отраслевого СНиП).

Для нахождения на местности положения главных точек круговой кривой от вершины угла поворота в обе стороны откладывают отрезки, равные величине вычисленных тангенсов, и получают точки начала и конца кривой. Затем с помощью теодолита горизонтальный угол  $\beta$  делят пополам и, отложив по полученному направлению длину биссектрисы, находят положение точки середины кривой.

При строительстве автомобильных и железных дорог, каналов, прокладке трамвайных путей и др. выполняют детальную разбивку кривых. В зависимости от радиуса закруглений и других технических условий точки круговой кривой разбивают через интервал,  $k$  равный 2; 5; 10; 20 или более метров.

Вычисляют центральный угол  $\phi$  (рис. 18), соответствующий заданному преподавателем интервалу разбивки кривой  $k$  по формуле:

$$\phi = \frac{k \cdot 180^\circ}{\pi R}. \quad (5.19.)$$

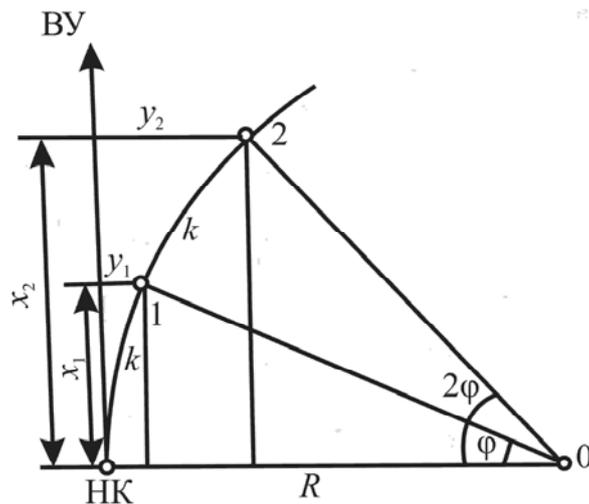


Рис. 18. Детальная разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат

Для разбивки круговой кривой за ось абсцисс принимают линию тангенса, идущую от точки начала разбитой круговой кривой в сторону вершины угла поворота, за ось ординат — перпендикулярное ей направление. Вычисляют прямоугольные координаты по следующим формулам:

точки 1

$$X1 = R \cdot \sin\varphi; \quad (5.20)$$

$$Y1 = 2R \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}; \quad (5.21)$$

точки 2

$$X2 = R \cdot \sin 2\varphi \quad (5.22)$$

$$Y2 = 2R \cdot \sin 2\varphi; \quad (5.23)$$

точки 3

$$X3 = R \cdot \sin 3\varphi; \quad (5.24)$$

$$Y3 = 2R \cdot \sin^2 \frac{3}{2}\varphi. \quad (5.25)$$

По аналогии вычисляют координаты следующих до середины круговой кривой точек.

Число точек на участке от начала до середины кривой равно целому числу, полученному делением ее длины ( $K/2$ ) на интервал разбивки  $k$  (остаток не учитывается).

Закрепив в точке начала кривой нулевое деление мерной ленты или рулетки, откладывают по направлению вершины угла поворота  $ВУ$  расстояния, равные вычисленным значениям абсцисс ( $X1, X2, X3$  и т.д.). Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают соответствующие ординаты ( $Y1, Y2, Y3$  и т.д.), получая точки круговой кривой 1, 2 и 3 и т.д. (см. рис. 18).

Аналогично ведут детальную разбивку круговой кривой от ее конца КК в сторону середины СК.

*Пример расчета.* Задано: радиус круговой кривой  $R = 25$  м, интервал детальной разбивки  $k = 5$  м.

Над вершиной угла поворота ВУ установили теодолит, отцентрировали, привели в рабочее положение и полным приемом измерили горизонтальный угол между направлениями на начало трассы (НТ) и конец трассы (КТ).

Таблица 5.1.

**Журнал измерения горизонтального угла между точками НТ и КТ**

№ точек		Отсчеты по шкале микро-скопа	Углы, измеренные		Схема горизонтального угла
стояния	визиования		в полуприеме	в приеме	
			КЛ		<p style="text-align: center;">КТ НТ VU</p>
	НТ	351°25'			
			103°40'		
	КТ	247°45'		103°40,5'	
ВУ			КП	(103°40'30")	
	НТ	79°52'			
			103°41'		
	КТ	336°11'			

Вычислили угол поворота  $Q = 180°00' - 103°40'30'' = 76°19'30''$

$$\frac{Q}{2} = 38°09'45''.$$

Элементы круговой кривой:

$$K = \frac{3,14 \cdot 25 \text{ м} \cdot 76°19'30''}{180°} = 33,29 \text{ м}$$

$$T = 25 \text{ м} \cdot \operatorname{tg} 38°09'45'' = 19,65 \text{ м}$$

$$B = 25 \text{ м} \left( \frac{1}{\cos 38°09'45''} - 1 \right) = 6,80 \text{ м}$$

От вершины угла ВУ в сторону начала трассы НТ и конца трассы КТ отложили по 19,65 м и получили точки начала кривой НК и конца кривой КК.

Вычислили отсчет, при котором визирная ось зрительной трубы разделит угол  $\beta$  пополам, прибавив к последнему отсчету на его левую точку половинное значение  $\beta/2$

$$336°11' + \frac{103°40'}{2} = 388°01' = 28°01'.$$

Вращением алидады установили отсчет по горизонтальному кругу 28°01'. По полученному направлению визирной оси зрительной трубы отложили

6,80м и получили точку середины кривой (СК). Вычислили центральный угол, соответствующий интервалу разбивки  $k$

$$\phi = \frac{5м \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 25м} = 11^\circ 28'$$

Определили целое число точек детальной разбивки от конца кривой до ее середины, разделив длину половины кривой  $\frac{K}{2}$  на интервал разбивки

$$n = \frac{33,29м}{2} : 5м = 3,33 \approx 3.$$

Вычислили прямоугольные координаты трех точек

$$XB = 25м \times \sin 11^\circ 28' = 4,97м$$

$$YB = 2 \times 25м \times (\sin 5^\circ 44')^2 = 0,50м$$

$$XC = 25м \times \sin 22^\circ 56' = 9,74м$$

$$YC = 2 \times 25м \times (\sin 11^\circ 28')^2 = 1,98м$$

$$XD = 25м \times \sin 34^\circ 24' = 14,12м$$

$$YD = 2 \times 25м \times (\sin 17^\circ 12')^2 = 4,37м$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анопин, В.Н. Инженерная геодезия : курс лекций / В. Н. Анопин. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2012. — 68 с.
2. Дементьев, В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение : учеб. пособие / В.Е. Дементьев. — М. : Академический проект, 2011. — 590 с.
3. Инженерная геодезия / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михелева. — 9-е изд. — М. : Академия, 2008. — 480 с.
4. Практикум по геодезии / Под ред. Г. Г. Подклада. — М. : Академический проект, 2011. — 485 с.
5. Федотов, Г. А. Инженерная геодезия. / Г. А. Федотов. — 5-е изд. — М. : Высшая школа, 2009. — 463с.
6. Анопин, В.Н. Геодезия: учебно-методические указания / В. Н Анопин; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. — Волгоград: ВолгГТУ, 2017. — 126, [3]с.

Публикуется в авторской редакции

Минимальные систем. требования:  
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 11.12.2018  
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,46. Объем данных 1,085 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)