

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

**Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»**

**Е. К. АТРОШКО, В. Б. МАРЕНДИЧ, А. А. ТКАЧЕВ**

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГ**

**Учебно-методическое пособие по дисциплине «Инженерная геодезия»**

**Гомель 2011**

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

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Е. К. АТРОШКО, В. Б. МАРЕНДИЧ, А. А. ТКАЧЕВ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГ

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Инженерная геодезия»

*Одобрено методической комиссией строительного факультета*

Гомель 2011

УДК 528.48 ( 075.8 )  
ББК 26.12  
А92

А в т о р ы: канд. техн. наук, доц. *Е. К. Атрошко* (введение, разд. 1), ст. преп.  
*В. Б. Марендич* (разд. 2, 3), ассист. *А. А. Ткачев* (разд. 4).

Р е ц е н з е н т – зав. кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» канд.  
техн. наук, доцент *П. В. Ковтун* (УО «БелГУТ»).

### **Атрошко, Е.К.**

А92 Геодезические работы при изысканиях, строительстве и эксплуата-  
ции железных и автомобильных дорог: учеб.-метод. пособие по  
дисциплине «Инженерная геодезия» / Е. К. Атрошко, В. Б. Марендич,  
А. А. Ткачев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т  
трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 60 с.  
ISBN 978-985-468-776-6

Рассмотрены основные геодезические работы, выполняемые при  
изысканиях, строительстве и эксплуатации железных и автомобильных дорог.  
Особое внимание уделено вопросам полевого трассирования дорог, разбивке  
круговых и переходных кривых, разбивке земляного полотна, а также  
работам при реконструкции и ремонте дорог.

Предназначено для студентов старших курсов строительного факультета  
БелГУТа.

**УДК 528.48 (075.8)**  
**ББК 26.12**

**ISBN 978-985-468-776-6**

© Атрошко Е.К., Марендич В.Б., Ткачев А.А., 2011  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1 Геодезические работы, выполняемые при изысканиях дорог.....	5
1.1 Проложение трассы на местности. Измерение углов поворота и линии трассы.....	5
1.2 Разбивка пикетажа, плюсовых точек и поперечников. Съёмка дорожной полосы. Пикетажный журнал.....	6
1.3 Круговые кривые, их элементы и главные точки. Разбивка главных точек круговых кривых.....	8
1.4 Переходные и суммарные кривые.....	9
1.5 Расчет пикетажных значений главных точек круговой кривой. Вынос пикетов с тангенса на кривую.....	11
1.6 Привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети.....	12
1.7 Нивелирование трассы и поперечников. Журнал нивелирования.....	15
1.8 Высотная привязка трассы к реперам государственной нивелирной сети. Нивелирование через реки и овраги.....	19
1.9 Обработка журнала нивелирования и составление профиля трассы.....	21
1.10 Составление плана трассы. Ведомость углов поворота, прямых и кривых...	25
1.11 Гидрометрические работы.....	27
2 Геодезические работы при строительстве дорог.....	29
2.1 Восстановление трассы.....	29
2.2 Разбивка земляного полотна.....	34
2.3 Разбивка сопряжений уклонов продольного профиля.....	36
2.4 Геодезические работы при устройстве верхнего строения дороги.....	37
2.5 Геодезические работы при строительстве мостов.....	39
3 Геодезические работы при эксплуатации дорог.....	41
3.1 Виды геодезических работ при ремонтах пути.....	41
3.2 Съёмка и расчет существующих кривых.....	42
3.3 Разбивка стрелочных переводов на кривых.....	44
3.4 Наблюдения за деформациями инженерных сооружений.....	46
4 Геоинформационные системы и современные методы топографических съёмок автомобильных и железных дорог.....	49
4.1 Геоинформационные системы.....	49
4.2 Современные методы топографических съёмок автомобильных и железных дорог.....	53
4.2.1 Спутниковые радионавигационные системы.....	55
4.2.2 Съёмка с помощью лазерных сканеров.....	57
4.2.3 Съёмка с помощью комплексных систем.....	58
4.2.4 Съёмка с помощью электронных тахеометров.....	59
4.2.5 Съёмка с помощью комбинированных систем.....	60
Список литературы.....	

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Инженерная геодезия» для специальностей «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» (СП) и «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» (СА) БелГУТа.

В пособии рассмотрены основные геодезические работы, выполняемые при изысканиях, строительстве и эксплуатации дорог. Особое внимание уделено таким вопросам, как проложение трассы дороги на местности, разбивка круговых и переходных кривых, съемка дорожной полосы, нивелирование трассы и поперечников, плановая и высотная привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети, составление плана и профиля трассы, а также разбивка земляного полотна и геодезические работы при ремонте и реконструкции дорог.

В данном пособии не излагаются сведения об основных геодезических приборах, так как в дополнение к нему ранее был выпущен практикум по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ по дисциплине «Спецкурс по инженерной геодезии»

Пособие предназначено для студентов старших курсов строительного факультета при изучении ими спецкурса «Геодезические работы в дорожном строительстве», а также может быть использовано студентами первого курса и студентами других строительных специальностей при изучении темы «Геодезические работы при изысканиях линейных сооружений».

Авторы выражают благодарность рецензенту кандидату технических наук, доценту П. В. Ковтуну за предложения по улучшению качества учебно-методического пособия, а также ассистенту И. П. Драловой за помощь в подготовке и оформлении пособия.

# 1 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ДОРОГ

## 1.1 Проложение трассы на местности. Измерение углов поворота и линии трассы

Трассой дороги называют ее продольную осевую линию. В процессе изысканий и проектирования дороги трасса ее предварительно наносится на плане или карте. Вынесение положения трассы с карты на местность называют разбивкой трассы (рисунок 1.1).

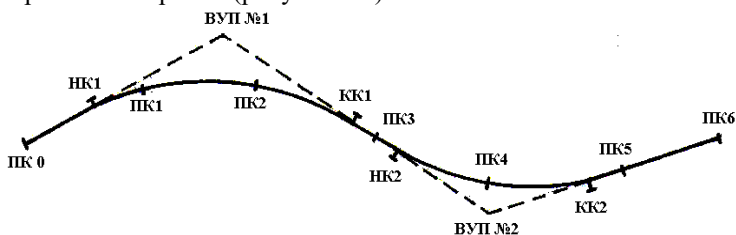


Рисунок 1.1 – Схематический чертеж трассы дороги

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.

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

Выбранные на местности вершины углов поворота трассы закрепляют деревянными

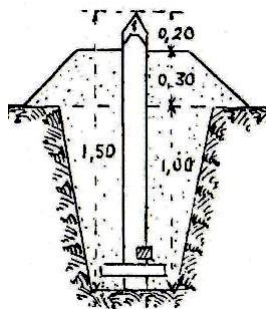


Рисунок 1.2 – Закрепление вершин углов поворота

столбами (рисунок 1.2). На кривых закрепляются столбами начало, середина, конец кривой и точки сопряжения круговой и переходной кривых.

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.

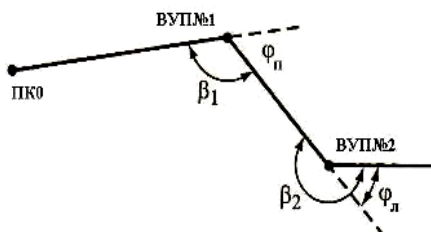
На вершинах поворотов трассы теодолитом способом приемов измеряют углы.

По измеренным правым по ходу углам  $\beta$  (рисунок 1.3) вычисляют углы поворота трассы  $\varphi$  по формулам:

$$\varphi_{\text{п}} = 180^\circ - \beta_1, \quad (1.1)$$

$$\varphi_{\text{л}} = \beta_2 - 180^\circ. \quad (1.2)$$

Углом поворота трассы  $\varphi$  называется угол между продолжением предыдущего и последующим направлением трассы.



При этом, если значение измеренного угла  $\beta$  меньше 180°, то угол поворота трассы будет правый, а если угол  $\beta$  больше 180°, то угол поворота будет левый (рисунок 1.3).

Рисунок 1.3 – Определение углов поворота по трассе

Одновременно с измерением углов по буссоли определяют магнитные азимуты предыдущего и

последующего направлений трассы для контроля измеренного угла между ними.

## 1.2 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 метров по оси трассы закрепляют пикеты. Пикеты обозначают двумя колышками, один из которых забивают вровень с землей и называют точкой, а второй длиной около 40 см забивают в землю на половину его длины и называют сторожкой. Сторожку забивают на расстоянии примерно в 20 см от точки по направлению хода. На точку ставится рейка при нивелировании трассы, а на сторожке подписывается номер пикета. Сторожку забивают для того, чтобы можно было 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 1.4).

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 под прямым углом к оси трассы с помощью теодолита или экера

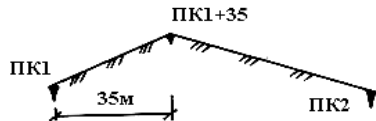


Рисунок 1.4 – Плюсовая точка

в местах, где поперечные уклоны круче 1 : 10. Точки на поперечниках закрепляют так же, как и пикеты, а на сторожках подписывают расстояние от оси трассы с пометкой «право» или «лево» относительно расположения точки от оси трассы.

Съемку дорожной полосы при разбивке пикетажа производят способом прямоугольных координат (перпендикуляров) в обе стороны от оси трассы на 20–50 метров. 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 1.5). В пикетажном журнале наносят выпрямленную линию оси трассы с пикетными и плюсовыми точками, вдоль которой показывают

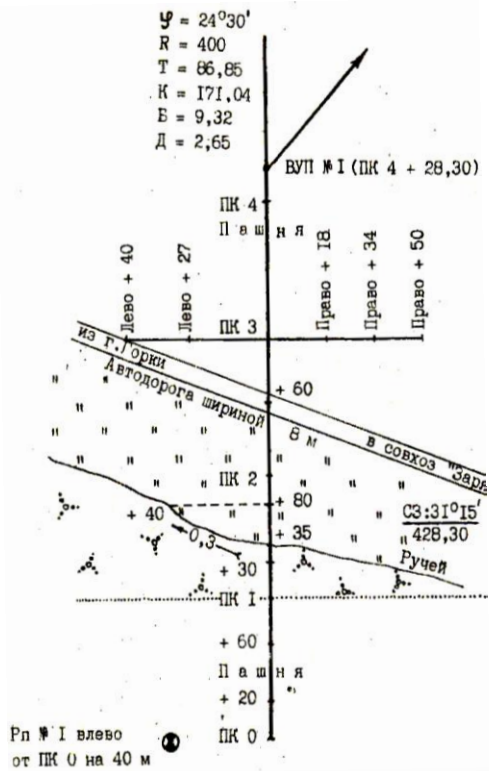


Рисунок 1.5 – Пример оформления пикетажного журнала



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 беспикетажный 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.

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 беспикетажный 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.

### 1.3 Круговые кривые, их элементы и главные точки. Разбивка главных точек круговых кривых

В плане ось дороги 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.

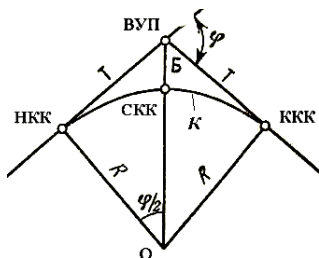


Рисунок 1.6 – Основные элементы круговой кривой

Рассмотрим круговую кривую (рисунок 1.6). 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 (НКК), конец круговой кривой (ККК) и середина круговой кривой (СКК).

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

- 1 – угол поворота трассы  $\varphi$ ;
- 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 ( $\varphi$ ) измеряют при трассировании, а величину радиуса кривой ( $R$ ) выбирают в соответствии с техническими условиями.

Остальные элементы круговой кривой могут быть определены из прямоугольного треугольника ( $O$  – НКК – ВУП) на рисунке 1.6 по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} T &= R \operatorname{tg} \varphi / 2, \\ K &= \pi R \varphi^0 / 180^0, \\ B &= R / \cos \varphi / 2 - R, \\ D &= 2T - K. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

По вышеприведенным формулам составлены таблицы, в которых по известным  $\varphi$  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 ( см.рисунок 1.6).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  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$  пропорциональны радиусу кривой. Это видно из формул (1.3).

## 1.4 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 1.7).

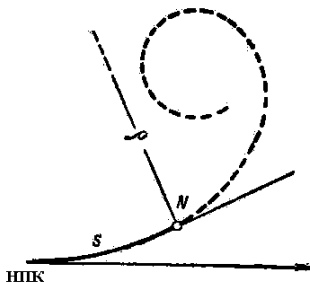


Рисунок 1.7 – Клотоида

Уравнение клотоиды (радиальной спирали) имеет вид

$$\rho = C / \ell,$$

где  $\rho$  – переменный радиус кривизны;  
 $C$  – постоянная величина, называемая параметром переходной кривой;  
 $\ell$  – 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 1.8 показана суммарная кривая, состоящая из круговой кривой радиуса  $R$  и двух переходных кривых.

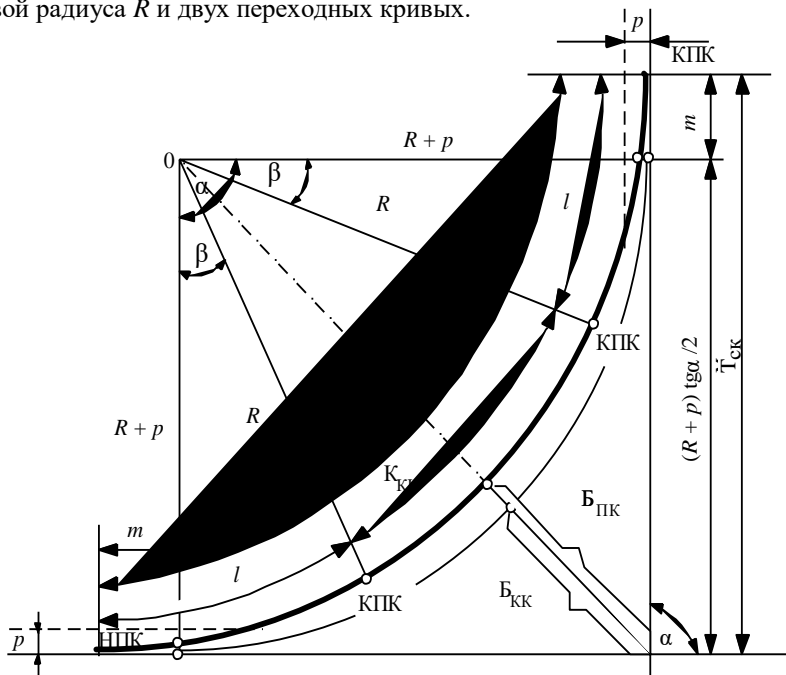


Рисунок 1.8 – Основные элементы суммарной кривой

Элементами переходных кривых являются:

- $\ell$  – длина переходной кривой;
- $p$  – сдвигка круговой кривой;
- $m$  – добавочный тангенс.

Величины  $p$  и  $m$  определяют по формулам или выбирают из таблиц по заданному радиусу  $R$  и длине переходной кривой  $\ell$  в нижней части страницы таблицы 1 [3]:

$$\left. \begin{aligned} p &= \ell^2 / 24R, \\ m &= \ell / 2 \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

Элементы суммарной кривой определяют по формулам (см рисунок 1.8)

$$\left. \begin{aligned} T_c &= T + m = (R + p) \operatorname{tg} \alpha / 2 + m, \\ K_c &= K + \ell = \pi R \alpha / 180^\circ + \ell, \\ B_c &= (R + p) / \cos \alpha / 2 - R, \\ D_c &= 2T_c - K_c. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

Радиусы круговой кривой и длины переходных кривых устанавливаются техническими условиями. Угол  $\alpha$  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.

### 1.5 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 (НKK), середины кривой (СКК) и конца кривой (ККК). Для этого используют следующие соотношения:

$$\begin{array}{ll} \text{НKK} = \text{ВУП} - T, & \text{Контроль:} \\ \text{СКК} = \text{НKK} + K / 2, & \text{ККК} = \text{НKK} + T - D, \\ \text{ККК} = \text{НKK} + K, & \text{СКК} = \text{ВУП} - D / 2. \end{array}$$

**Пример.** Определить пикетажное значение главных точек кривой, если вершина угла поворота (ВУП) находится в точке ПК4 + 28,30, а элементы кривой:

$$\alpha = 24^\circ 30'; R = 400 \text{ м}; T = 86,85 \text{ м}; K = 171,04 \text{ м}; B = 9,32 \text{ м}; D = 2,65 \text{ м}$$

Вычисление пикетажа

Контроль

ВУП.....ПК4 + 28,30

ВУП.....ПК4 + 28,30

- Т.....	86,85
-----	
НКК.....ПК3 + 41,45	
+ К.....ПК1 + 71,04	
-----	
ККК.....ПК5 + 12,49	
-----	
НКК.....ПК3 + 41,45	
+ К/2.....	85,42
-----	
СКК.....ПК4 + 26,97	

+ Т.....	86,65
-----	
Σ.....ПК5 + 15,15	
- Д.....	2,65
-----	
ККК.....ПК5 + 12,50	
-----	
ВУП.....ПК4 + 28,30	
- Д/2.....	1,32
-----	
СКК.....ПК4 + 26,98	

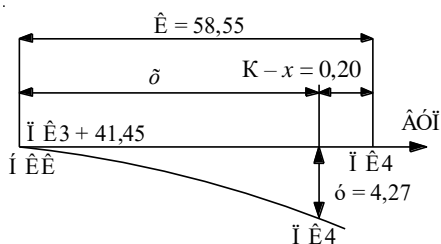


Рисунок 1.9 – Вынос пикета с тангенса на кривую

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

На вершинах поворота трассы все пикетные и плюсовые точки, лежащие на тангенсах, выносят на кривую. Для этого используют способ прямоугольных координат,

сущность которого рассмотрим на примере (рисунок 1.9).

**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 значения  $K - x$  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, 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 1.9).

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

## 1.6 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 близко лежащим пунктам опорной сети*

Пусть на местности имеется два пункта опорной геодезической сети  $A$  и  $B$  (рисунок 1.10).

В этом случае для привязки точки 1 трассы от пункта  $A$  опорной сети необходимо измерить примычный угол  $\beta_0$  и расстояние  $d_0$ .

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

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

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

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X_A + d_0 \cos \alpha_{A1}, \\ Y_1 &= Y_A + d_0 \sin \alpha_{A1}. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

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

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= d \cos \alpha, \\ \Delta Y &= d \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

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

*2 Привязка трассы к двум опорным пунктам (способ прямой угловой засечки)*

Пусть на точках  $A$  и  $B$  опорной геодезической сети измерены углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рисунок 1.11), при этом координаты пунктов  $A$  и  $B$  известны.

Тогда координаты точки 1 трассы можно

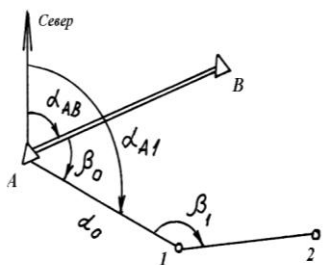


Рисунок 1.10 – Привязка трассы

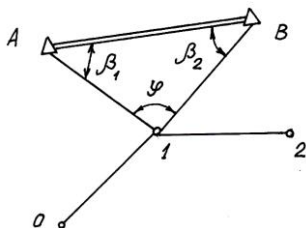


Рисунок 1.11 – Способ прямой угловой засечки

вычислить из прямой угловой засечки, через котангенсы измеренных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  по следующим формулам:

$$X_1 = X_A + \frac{(X_A - X_A) \operatorname{ctg} \beta_1 - (Y_A - Y_A)}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}, \quad (1.8)$$

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

Определение координат точки 1 будет более надежным, если угол засечки  $\varphi$  будет не менее  $30^0$  и не более  $150^0$ .

*3 Привязка трассы к трем опорным точкам геодезической сети (способ обратной угловой засечки)*

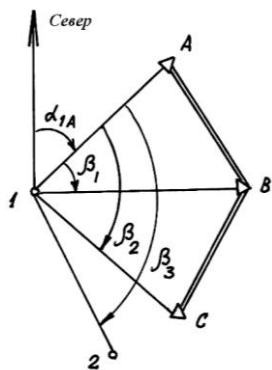


Рисунок 1.12 – Способ обратной угловой засечки

Если на местности из точки 1 трассы видно не менее трех опорных пунктов геодезической сети  $A$ ,  $B$  и  $C$  (рисунок 1.12), то на точке 1 трассы достаточно измерить углы  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и  $\beta_3$ , чтобы вычислить координаты точки 1 и дирекционный угол  $\alpha_{12}$  линии трассы. Данный способ привязки называется обратной угловой засечкой.

Согласно рисунку 1.12 можно написать формулы для вычисления дирекционных углов:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1B} &= \alpha_{1A} + \beta_1, \\ \alpha_{1C} &= \alpha_{1A} + \beta_2, \\ \alpha_{12} &= \alpha_{1A} + \beta_3. \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

Дирекционный угол  $\alpha_{1A}$  можно определить

из равенства:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1A} = \frac{(Y_A - Y_B) \operatorname{ctg} \beta_1 + (Y_C - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_2 + (X_B - X_C)}{[(X_A - X_B) \operatorname{ctg} \beta_1 + (X_C - X_A) \operatorname{ctg} \beta_2 + (Y_C - Y_B)]}. \quad (1.10)$$

По тангенсу находим величину румба, а название его – по знакам приращений координат. Дирекционные углы остальных линий вычисляем по формулам (1.9). Координату  $X$  точки 1 трассы получим по формуле

$$X_1 = X_A \operatorname{tg} \alpha_{1A} - X_B \operatorname{tg} \alpha_{1B} + (Y_B - Y_A) / (\operatorname{tg} \alpha_{1A} - \operatorname{tg} \alpha_{1B}). \quad (1.11)$$

Координату  $Y$  точки 1 трассы можно получить с контролем по формулам:

$$\begin{aligned} Y_1 &= Y_A + (X_1 - X_A) \operatorname{tg} \alpha_{1A}, \\ Y_1 &= Y_C + (X_1 - X_C) \operatorname{tg} \alpha_{1C}. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Для полного контроля полевых и вычислительных работ на местности можно измерить угол на четвертую точку опорной геодезической сети. Привязка будет более надежной, если углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  не будут меньше  $30^\circ$  и более  $150^\circ$ .

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:

$$\alpha = A_m + \delta - \gamma, \quad (1.13)$$

где  $\alpha$  – дирекционный угол;  
 $A_m$  – магнитный азимут;  
 $\delta$  – склонение магнитной стрелки;  
 $\gamma$  – сближение меридианов.

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

### 1.7 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, связывающие пикеты, а также поперечники и геологические выработки на трассе. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют, как связывающие точки, обоими нивелирами. Связывающими 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 1.13).

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз».

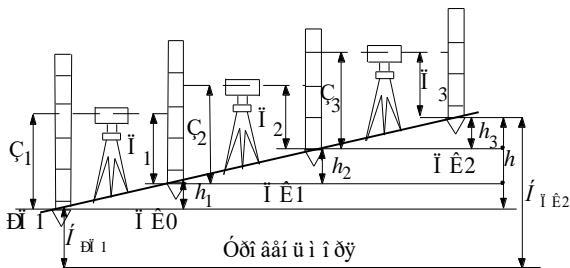


Рисунок 1.13 – Порядок нивелирования по трассе

зависимости от увеличения зрительной трубы связывающие точки можно брать через 100 или 200 м. В первом случае ими будут служить все пикеты, а во втором – 50 % их (через пикет). Превышения между связывающими и пикетными точками



определяют по черной и красной сторонам реек, а при работе с односторонними рейками – при двух горизонтах нивелира.

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 1.13):

$$h = h_1 + h_2 + h_3 = \Sigma h = \Sigma(3 - \Pi) = \Sigma 3 - \Sigma \Pi,$$

$$H_{пк2} = H_{пк1} + \Sigma h.$$

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:

а) 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;

б) 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 1.1).

Таблица 1.1 – Журнал нивелирования трассы

Номер станции	Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейке			Превышения		Средние превышения		Горизонт нивелира	Абсолютные (условные) отметки
		задней	передней	промежуточной	+	-	+	-		
1	РП №1	0343							10	11
	ПК 0	5132	1628			1285		+2		59,667
			6415			1283		1284		58,385

2	ПК 0	1134 5921								58,385
	+20			944		900		+2	59,519	58,575
	+60			712		898		899		58,807
	ПК 1		2034 6819							57,488

Окончание таблицы 1.1

Номер станции	Наблюдательные точки	Отсчеты по рейке			Превышения		Средние превышения		Горизонт нивелира	Абсолютные (условные) отметки
		задней	передней	промежуточной	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	ПК 1	482 5269							57,970	57,488
	+30			815		493		+2		57,155
	+35			2248		493		493		55,722
	+80			1110						56,860
	ПК 2		975 5762							56,997
	Σ	18231	23633					-2676		

Контроль:  $(\Sigma 3 - \Sigma 11) / 2 = (18281 - 23633) / 2 = 2676$ ,  $\Sigma h_{cp} = -2676$ .

Например:  $h_{ч} = 3_{ч} - П_{ч} = 343 - 1285 = -1285$  мм,

$h_{к} = 3_{к} - П_{к} = 5132 - 6415 = -1283$  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;

в) 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 1.14, а).

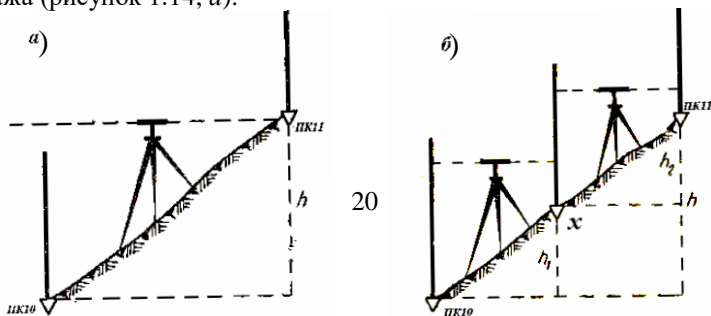


Рисунок 1.14 – Применение иксовой точки

Тогда между точками пикетажа выбирается одна (рисунок 1.14, 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.

**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 1.2.

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 пикет или плюсовые точки (рисунок 1.15, а). 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 (рисунок 1.15, б).

Таблица 1.2 – Нивелирования поперечника

номер	Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейке				Превышение	Средние превышения	Горизонт нивелира	Абсолютные
		дн	лв	ром	у-				

					+	-	+	-		(условные) высоты
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

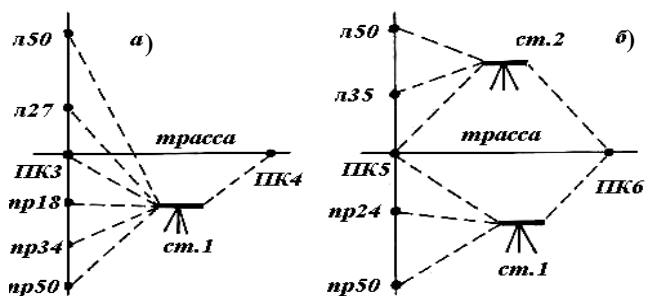


Рисунок 1.15 – Схема нивелирования поперечников

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

### 1.8 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 надевают подвесную рейку. Нуль рейки совмещен с центром ее отверстия. Согласно рисунку 1.16 превышение точки  $B$  над маркой  $A$  в этом случае

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

где  $3$  и  $\Pi$  – 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.

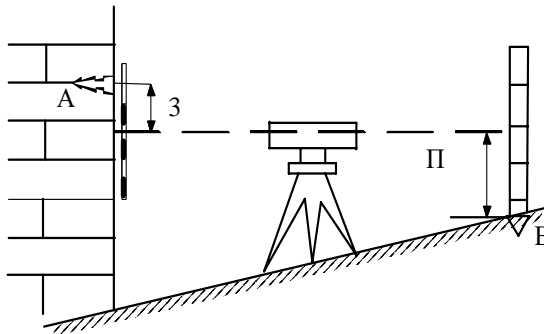


Рисунок 1.16 – Привязка к стенной марке

**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

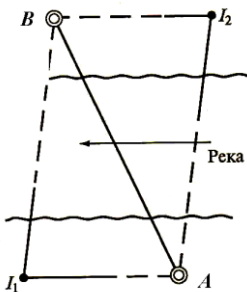


Рисунок 1.17 – Нивелирование через реку

воды, забивают два кола  $A$  и  $B$  (рисунок 1.17) и около них выбирают станции  $I_1$  и  $I_2$  так, чтобы  $I_1A = I_2B \approx 10$  м и  $I_1B = I_2A$ . 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 изображений. Каждый раз отсчеты рекомендуется брать по трем горизонтальным нитям.

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

Зимой нивелирование через широкие реки может быть произведено по льду. Нивелир и рейки при этом устанавливают на специально вмороженные 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  $\pm 30$  см), что можно использовать для приближенной передачи отметок через широкие водоемы.

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. Характерной особенностью здесь будут небольшие расстояния между связующими точками, что заставляет выбирать станции на 10–15 м в стороне от трассы. Нивелирование крутых склонов оврага можно произвести также ватерпасовкой при помощи двух реек, одна из которых должна быть снабжена цилиндрическим уровнем, а другая круглым. Сущность этого способа нивелирования понятна из рисунка 1.18.

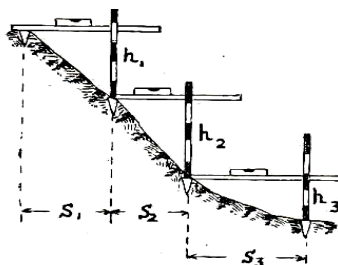


Рисунок 1.18 – Нивелирование крутого склона

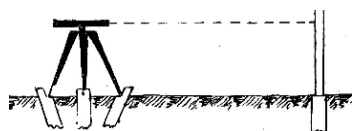


Рисунок 1.19 – Нивелирование заболоченных участков компенсатором.

При нивелировании заболоченных участков для установки нивелира и реек забиваются колья до твердого грунта (рисунок 1.19). В этом случае наиболее точные результаты дает применение самоустанавливающихся нивелиров с

## 1.9 Обработка журнала нивелирования и составление профиля трассы

В журнале нивелирования (см. таблицу 1.1) 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 заканчивается на 0,5 мм, то результат округляют до 1 мм к ближайшей четной цифре.

Например:  $h_{\text{ср}} = 1984,5 = 1984$  мм;  $h_{\text{ср}} = 2113,5 = 2114$  мм.

На каждой странице журнала выполняют постраничный контроль, проверяя равенство:

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

Например, в таблице 1.1

$$(\Sigma Z - \Sigma П)/2 = -2676; \quad \Sigma h_{\text{ср}} = -2676.$$

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

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

где  $f_h$  – невязка в превышениях (должна быть меньше  $\pm 50 \text{ мм}\sqrt{L}$ );

$H_{\text{нач}}$  и  $H_{\text{кон}}$  – отметки начального и конечного реперов:

Например,  $L = 2$  км, то  $f_{h \text{ доп}} = \pm 50 \text{ мм}\sqrt{2} = \pm 70$  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 уравненным превышениям (средние превышения с учетом поправок) вычисляют высоты всех связующих точек трассы по правилу: высота последующей точки  $H_{\text{посл}}$  равна высоте предыдущей  $H_{\text{пред}}$  плюс уравненное уравнение  $h$  между ними:

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h.$$

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 1.1) горизонт нивелира

$$\text{ГН} = H_{\text{нк0}} + 3. \quad \text{ГН} = 58,385 + 1,134 = 59,519 \text{ м.}$$

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

$$H_{+20} = 59,519 - 0,944 = 58,575 \text{ м};$$

$$H_{+60} = 59,519 - 0,712 = 58,807 \text{ м}.$$

Аналогично через горизонт нивелира вычисляются высоты точек поперечника на пикете 3 (таблица 1.2).

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 1.20).

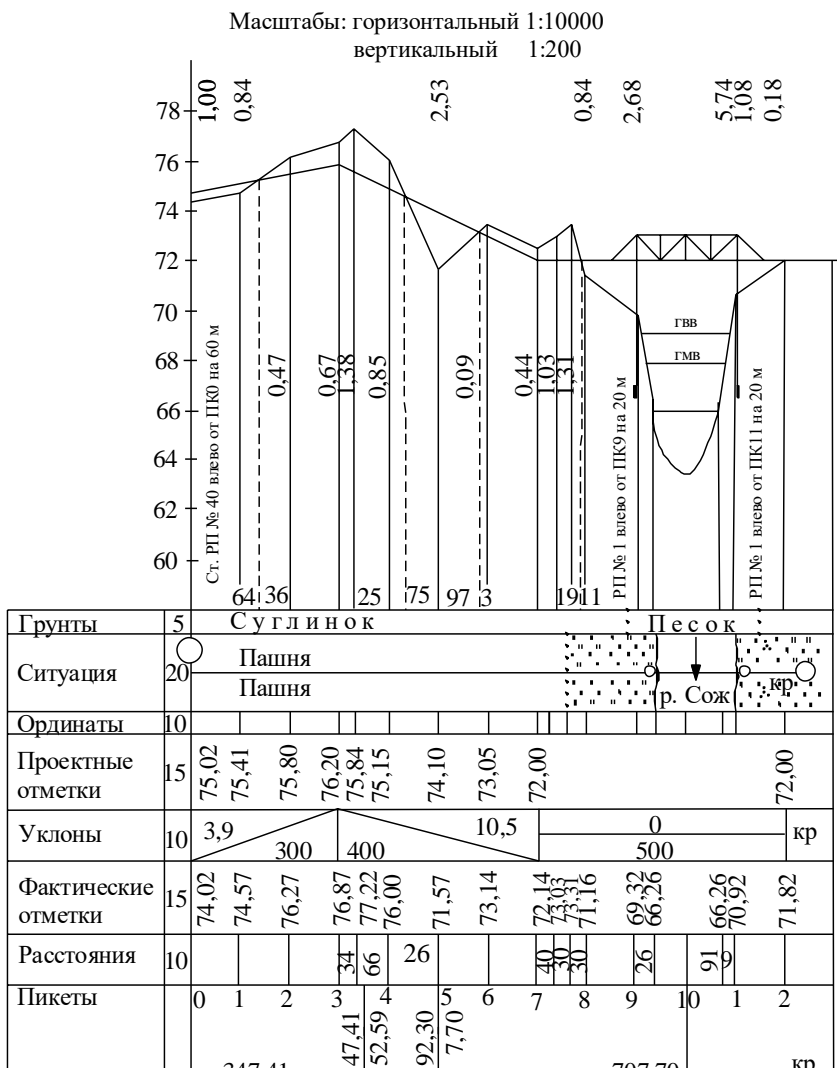




Рисунок 1.20 – Продольный профиль трассы

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;

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:  $\phi$ ,  $R$ ,  $T$ ,  $K$ . 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;

б) 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) по формуле

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

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 1.20). 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 1.21).

Горизонтальные расстояния до точек перегиба профиля на поперечнике откладывают вправо и влево от осевой точки трассы, на которой производилась разбивка

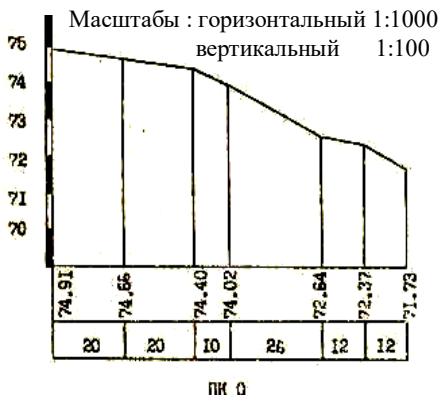


Рисунок 1.21 – Поперечный профиль

поперечника. Высоты точек поперечника откладывают по вертикали от принятого условного горизонта в соответствующем масштабе.

### 1.10 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 1.22.

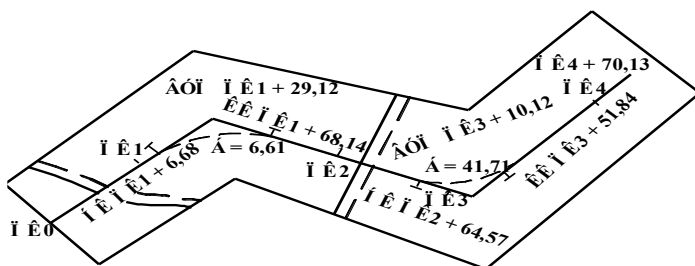


Рисунок 1.22 – План трассы

К плану трассы прилагают “Ведомость углов поворота, прямых и кривых” (таблица 1.3).

Заполнение граф “Ведомости” в графах 1–11 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  $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} \pm \varphi$ .

Числа, записанные в графу 12, представляют собой длины прямых участков трассы П, вычисляемые как разность пикетажного положения начала следующей кривой и конца предыдущей.

Таблица 1.3 – Ведомость углов поворотов, прямых и кривых

Углы		Кривые									Прямые		
Точка трассы	Местоположение	Углы поворота		R	Т	К	Б	Д	НК	КК	П	ВУП	$\alpha$
		пр.	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	$\Sigma V_{пр}$	$\Sigma V_{лев}$		$\Sigma T$	$\Sigma K$		$\Sigma D$			$\Sigma П$	$\Sigma ВУП$	

Контроль:  $\Sigma V_{пр} - \Sigma V_{лев} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач}$ ,

где  $\alpha$  – дирекционные углы линии трассы, вычисленные по формуле

$$\alpha_{посл} = \alpha_{пред} \pm \varphi.$$

Знак (+) для правых углов поворота, знак (–) для левых углов поворота:

$$2\Sigma T = \Sigma K + \Sigma D,$$

$$\Sigma П + \Sigma K = L,$$

$$\Sigma ВУП - \Sigma D = L.$$

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.

Под таблицей 1.3 производят контроль всех вычислений по приведенным формулам:

1) разность правых и левых углов поворота должна равняться разности конечного и начального дирекционных углов линий трассы:

$$\Sigma \beta_{пр} - \Sigma \beta_{лев} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач};$$

2) сумма всех кривых плюс сумма всех домеров должна равняться удвоенной сумме тангенсов с допуском 0,01 – 0,02м за счет ошибок округления:

$$\Sigma K + \Sigma D = 2\Sigma T;$$

3) сумма прямых участков трассы ( $\Sigma П$ ) плюс сумма кривых участков ( $\Sigma K$ ) должна равняться общей длине трассы ( $L$ ):

$$\Sigma П + \Sigma K = L;$$

4) сумма расстояний между вершинами углов поворота ( $\Sigma ВУП$ ) минус сумма домеров должна быть равна общей длине трассы:

$$\Sigma ВУП - \Sigma Д = L.$$

Ведомость углов поворота, прямых и кривых наносится на свободном месте листа плана трассы.

### 1.11 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.

Рассмотрим 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) определение расхода воды в реке.

*Съемка поперечного сечения реки.* Створ оси трассы через реку закрепляют на берегах колышками, 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 1.23). Одновременно нивелируют урез воды в реке на линии створа и горизонт высоких вод, который определяют по местным признакам или из опроса жителей.

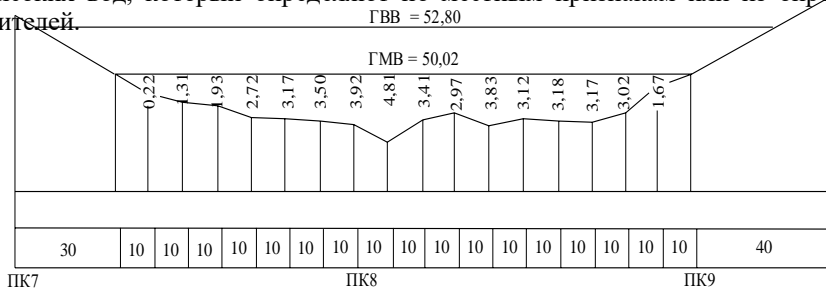


Рисунок 1.23 – Оформление чертежа промеров глубин

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 1.24).

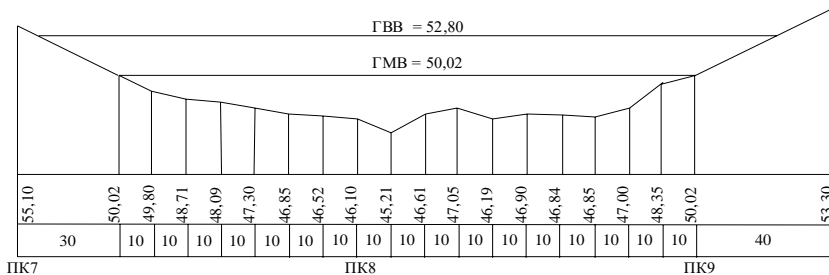


Рисунок 1.24 – Профиль живого сечения реки

*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 определяют по плану и, зная время прохождения поплавка от первого до второго створов, вычисляют скорость движения поплавка. Среднее из 3–4 значений на разном удалении от берега принимают за скорость течения реки (рисунок 1.25).

*Определение расхода воды в реке.* Расходом воды в реке называется количество воды, проходящее через поперечное (живое) сечение реки в одну секунду. Расход воды вычисляют по формуле

$$Q = P_{\text{ср}} v,$$

где  $Q$  – средний расход воды в реке, м<sup>3</sup>/с;

$P_{\text{ср}}$  – средняя площадь поперечного (живого) сечения реки, определяемая как произведение средней глубины реки на ее ширину;

$v$  – средняя скорость течения реки, м/с.

Например, на рисунке 1.23 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  $Q = 1,2 \text{ м/с} \cdot 437,6 \text{ м}^2 = 525 \text{ м}^3/\text{с}$ .

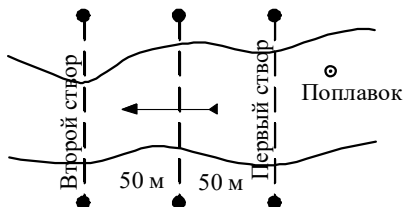


Рисунок 1.25 – Определение скорости течения реки

*Нивелирование реки.* Реку нивелируют для получения ее продольного уклона. Вдоль реки, на 200–400 м 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 кольшки до уровня торцов с поверхностью воды и одновременным нивелированием

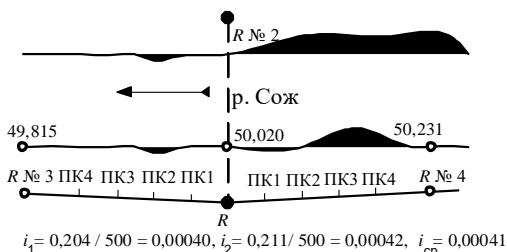


Рисунок 1.26 – Определение уклона реки

участков реки вверх и вниз по течению от оси трассы, а затем получают среднее значение (рисунок 1.26).

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

## 2 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ

### 2.1 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 ее 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.

Восстановленные на местности вершины углов поворота трассы закрепляют деревянными столбами, устанавливаемыми по два на продолжении тангенсов или под углами  $90^\circ$  к ним (рисунок 2.1, а-в). 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

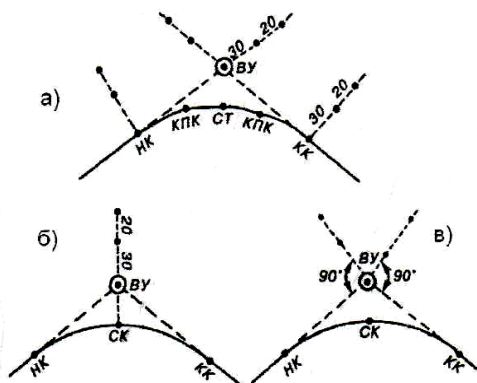


Рисунок 2.1 – Закрепление углов поворота трассы



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.

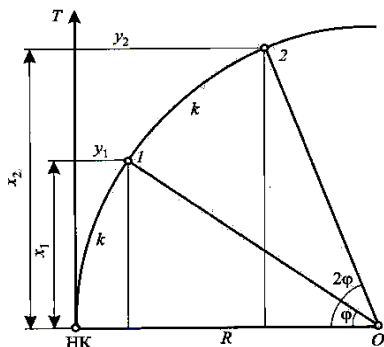


Рисунок 2.2 – Разбивка кривой способом прямоугольных координат

симметрично от начала и конца кривой к вершине угла).

Координаты точек 1, 2 и т. д. кривой вычисляют, как это видно из рисунка 2.2, по формулам

$$x = R \sin \varphi, \quad (2.1)$$

$$y = R (1 - \cos \varphi). \quad (2.2)$$

При заданном радиусе  $R$  дуге  $k$  будет соответствовать центральный угол

$$\varphi = k \cdot 180^0 / \pi R.$$

По данным формулам составлены таблицы (таблица 5 [3], в которых по аргументам  $R$  и  $\varphi$  вычислены значения координат  $x$  и  $y$ . Для совместной детальную разбивку переходных и круговых кривых данные берут из таблицы 4 [3]. Последовательность разбивки следующая: вдоль тангенсов 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

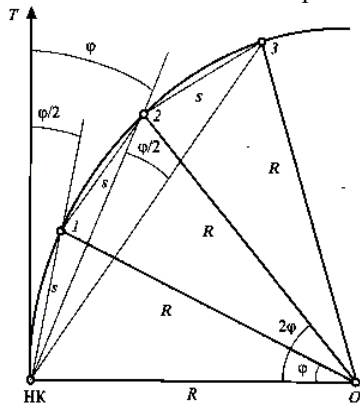


Рисунок 2.3 – Способ углов и хорд

точке длин ординат делает невозможным использование этого способа в стесненных условиях, в туннелях, в лесистой местности, по насыпи.

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  $\varphi$ , опирающийся на хорду (рисунок 2.3).

$$\sin \varphi / 2 = S / 2R. \quad (2.3)$$

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  $\varphi$  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 (2.3) и, пользуясь выражениями (2.1) и (2.2), разбивают точку 1 кривой способом прямоугольных координат (рисунок 2.4).

Затем по продолжению 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  $d$  определяют 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

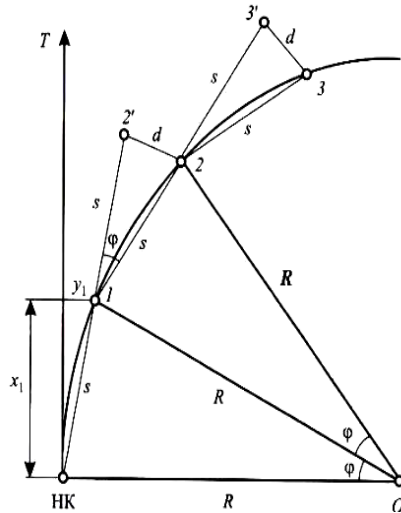


Рисунок 2.4 – Способ продолженных хорд

условиях, там, где другие способы применить невозможно. Кроме того, выполнение разбивки не требует специальных инструментов: ее производят при помощи рулеток.

Недостаток 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 искусственного сооружения 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 должны быть пронумерованы и зарегистрированы в ведомости реперов с указанием их отметок, описания вида и местоположения.

## 2.2 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 к 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.

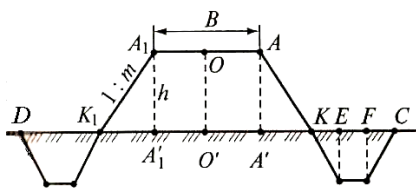


Рисунок 2.5 – Разбивка поперечника в насыпи

### Разбивка поперечников в насыпи.

При разбивке поперечников в насыпи (рисунок 2.5) на ровных (без поперечных уклонов) участках местности закрепляют положение проекции осевой точки  $O'$ , проекции осевой точки  $A'$ , точек подошвы насыпи  $K, K_1$  и

проекции точек кюветов  $D, C, E, F$ . Для этого от оси трассы  $O'$  рулеткой откладывают отрезки  $B / 2$  ( $B$  – ширина насыпи по верху) до бровки и отрезки  $h \times m$  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  $\nu$  (рисунок 2.6) 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  $\beta$ , то по теореме синусов будем иметь:

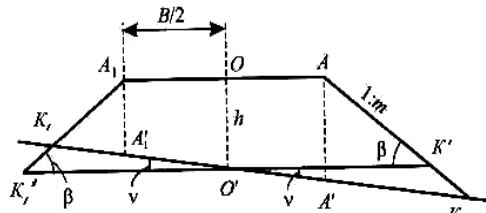


Рисунок 2.6 – Разбивка поперечника в насыпи на косогоре

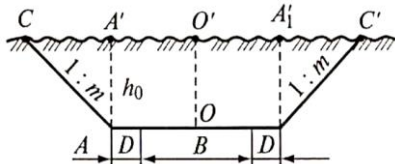
$$O'K = (B / 2 + hm) \sin \beta / \sin (\beta + \nu),$$

$$O'K_1 = (B / 2 + hm) \sin \beta / \sin (\beta + \nu).$$

Чтобы получить на наклонной местности проекции бровок  $A'$  и  $A'_1$ , необходимо от осевой точки  $O'$  отложить расстояние

$$O'A' = O'A'_1 = (B / 2) / \cos \nu.$$

**Разбивка поперечников в выемке.** При разбивке поперечников в выемке на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы  $O'$  (рисунок 2.7). От осевой точки трассы откладывают отрезки



$$O'A' = O'A'_1 = B / 2 + D,$$

где  $D$  – ширина кювета поверху, и отрезки

$$O'C = O'C' = B / 2 + D + h_0m,$$

где  $h_0$  – глубина выемки.

Рисунок 2.7 – Разбивка поперечника в выемке

На косогорах расстояние от оси до границы выемки будет меньшим в сторону понижения ската и большим в нагорную сторону.

Наклонные расстояния от оси до бровок выемки могут быть определены (рисунок 2.8) 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.

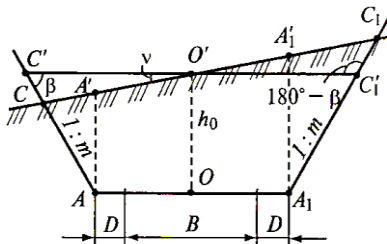


Рисунок 2.8 – Разбивка поперечника на косогоре в выемке

Проектные отметки земляного полотна выносятся в натуру с погрешностью не более 1 см.

### 2.3 Разбивка сопряжений уклонов продольного профиля

При строительстве железных и автомобильных дорог предусматривается вставка вертикальных кривых. Кривые в вертикальной плоскости разбивают для смягчения переломов продольного профиля дороги и достижения плавности и безопасности движения транспорта.

Сопряжение линий при переломе профиля производят вертикальными кривыми (рисунок 2.9). Вертикальные кривые – это выпуклые или вогнутые круговые кривые больших радиусов.

Вертикальные кривые разбивают по тем же элементам, что и горизонтальные круговые кривые, то есть по радиусу  $R$  кривой, по вертикальному углу поворота  $\alpha$ , длине кривой  $K$ , тангенсу  $T$ , биссектрисе  $B$  и прямоугольным координатам  $x$  и  $y$  (для детальной разбивки).

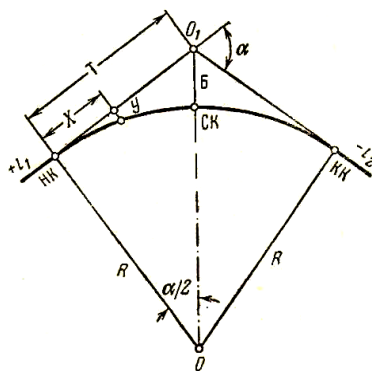


Рисунок 2.9 – Вертикальная кривая

Угол  $\alpha$ , выраженный в радианах, принимают ввиду его малой величины равным разности абсолютных значений уклонов  $i_1, i_2$ , то есть

$$\alpha = i_1 - i_2 = \Delta i.$$

Отсюда следует:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = R (i_1 - i_2) / 2, K = 2T, B = T^2 / 2R$$

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  $B$ , разбивают три главные точки кривой НК, СК и КК, а затем, пользуясь величинами  $x$  и  $y$ , разбивают кривую детально.

#### **2.4 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 2.10). Угол  $\alpha$  между рабочими гранями крестовины называется углом крестовины. Стрелочные переводы классифицируют по марке крестовины и обозначают дробью  $1/N$ :

$$1/N = 2 \operatorname{tg} \alpha / 2 \approx \operatorname{tg} \alpha.$$

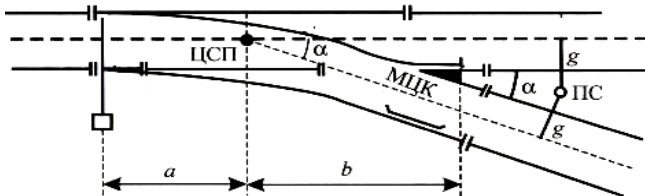


Рисунок 2.10 – Схема стрелочного перевода

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. Иными словами, для того чтобы выполнить разбивку стрелочного перевода на местности, необходимо зафиксировать положение его центра. При разбивке различают два основных случая:

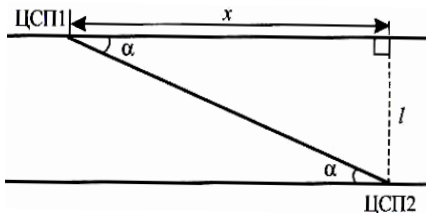


Рисунок 2.11 – Соединение путей

- соединение параллельных путей (рисунок 2.11). 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  $x = lN$  до ЦСП2 с точностью до 1 см;

- примыкание непараллельных путей (рисунок 2.12).

Для разбивки примыкания прокладываемого пути  $CL$  к существующему  $AK$  находят точку  $B$  пересечения осей путей и измеряют угол примыкания  $\beta$ . Стрелочный перевод отклоняет путь на постоянный угол  $\alpha$ , 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:  $\alpha$ ;  $180 - \beta$ ;  $\beta - \alpha$  и сторона  $AC = b + q + T$ :



$$x = (b + q + T) \sin (\beta - \alpha) / \sin \beta,$$

$$y = (b + q + T) \sin \alpha / \sin \beta,$$

где угол  $\alpha$  и величина  $b$  определяются по марке стрелочного перевода; угол  $\beta$  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 перевода отложить угол крестовины  $\alpha$  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  $\alpha$ . Таким образом находят точку пересечения  $C$ , в которой измеряют угол  $\beta - \alpha$  и производят вставку переводной кривой.

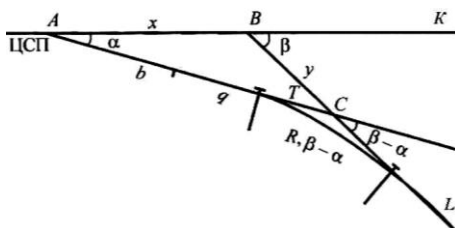


Рисунок 2.12 – Примыкание путей

## 2.5 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 2.13).

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  $1''-2''$ .

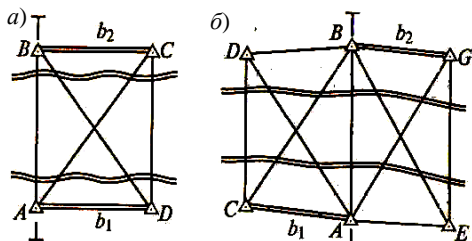


Рисунок 2.13 – Схемы разбивочной сети моста:

$a$  – геодезический четырехугольник;

$b$  – сдвоенный геодезический четырехугольник

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 2.14) и по ним определяют положение центров опор способом засечек с двух пунктов триангуляции. Точность измерения базисов и точность теодолитов для построения углов  $\beta$  и  $\gamma$  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.

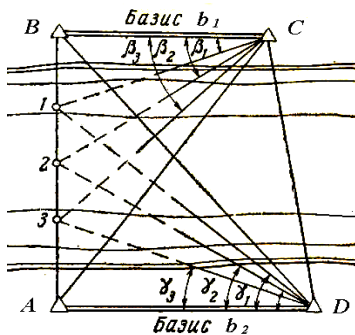


Рисунок 2.14 – Схема разбивки опор моста

В процессе строительства центры опор приходится восстанавливать несколько раз: для возведения фундаментов, для 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 2.15).

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:

- из детальной разбивки продольной оси моста и периодической проверки соосности сборки главных ферм или балок с допуском отклонением от проекта 5 мм;

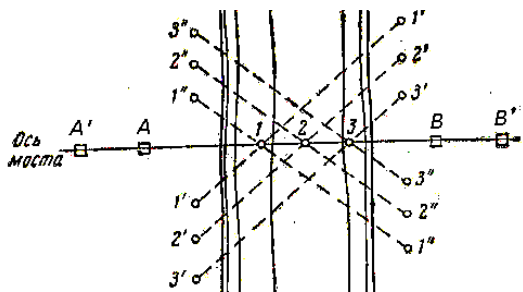


Рисунок 2.15 – Схема закрепления положения опор

- 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. Она выполняется также и после монтажа, по результатам ее составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

За осадками опор и прогибами ферм под нагрузкой ведут геодезические наблюдения и по окончании строительства моста, в момент его испытаний и в период эксплуатации.

### 3 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ

#### 3.1 Виды геодезических работ при ремонтах пути

В соответствии с нормами содержания пути в определенные сроки выполняется тот или иной вид ремонта (капитальный, средний или текущий).

Перед **капитальным ремонтом** выполняют полную съемку плана и профиля пути, подлежащего ремонту. По этим данным составляют топографический план участка, продольный и поперечные профили пути и земляного полотна. На электрифицированных участках дополнительно измеряют высоту подвески проводов контактной сети.

Выполнению ремонта предшествуют геодезические разбивки и вынесение проектных отметок и осей пути на земляном полотне. После выполнения ремонта пути перед его сдачей в эксплуатацию производят исполнительные съемки плана и профиля пути для выявления отступлений от проекта и устранения их.

Для выполнения **среднего ремонта** пути производят съемку кривых и нивелирование существующего пути по головке рельса. По результатам съемки производят расчет и выправку кривых. Кривая при этом может не занимать проектного положения, но обеспечивает плавность движения поездов. Возвышение рельсов в кривых устанавливают путем нивелирования.

При **текущем ремонте** производят обмер кривых, нивелирование по головке рельса существующего пути для выявления мест просядок, пучин и других деформаций пути. Нивелируют и снимают кюветы, нагорные канавы для восстановления их проектного уклона и поперечного профиля. В местах, подвергшихся деформации, производят детальную плановую и высотную съемки, данные которых используют для составления проектов оздоровления земляного полотна.

### 3.2 Съемка и расчет существующих кривых

Правильное положение пути в плане обеспечивает плавность движения поездов и наименьшее воздействие подвижного состава на путь. В процессе эксплуатации кривые постепенно утрачивают свое правильное очертание, поэтому периодически выполняют съемку кривых с целью приведения их в проектное положение путем рихтовки.

Чаще всего съемку существующих кривых выполняют способом стрел изгиба или способом Гоникберга.

*Способ стрел изгиба.* Этот способ получил повсеместное распространение на сети дорог как наиболее простой и менее трудоемкий.

Его очень часто используют при текущем содержании пути. При этом способе кривую и примыкающие к ней прямые (на 30–40 м) по наружной нити разбивают на отрезки длиной 10 или 20 м, а на кривых менее 400 м – 5 м (рисунок 3.1).

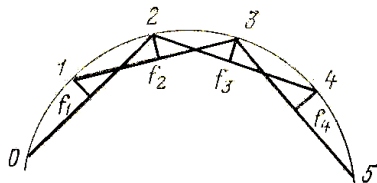


Рисунок 3.1 – Способ стрел изгиба

Разметку и нумерацию точек ведут по ходу километража. Точки отмечают на внутренней стороне шейки рельса. После чего от хорды между точками 0 и 2 измеряют стрелу изгиба  $f_1$  с точностью до 1 мм. Затем от хорды между точками 1 и 3 измеряют стрелу изгиба  $f_2$  и так далее до конца разбивки. Для контроля стрелы изгиба измеряют дважды. Расхождения величин стрел изгиба между первым и повторным измерениями не должны превышать 2–3 мм. Полученные данные используют для расчета выправки (рихтовки) кривой. Идеально поставленная кривая на всем своем протяжении в любой точке должна иметь одну и ту же стрелу изгиба  $f$ , мм:

$$f = 1000a^2 / 8R,$$

где  $a$  – длина хорды, м;

$R$  – радиус кривой, м.

При хорде  $a = 20$  м

$$f = 1000 \cdot 400 / 8R = 50000 / R.$$

Периодическая проверка состояния кривых способом стрел изгиба позволяет сравнивать измеренные величины стрелы с паспортными и в случае их расхождения производить приведение стрел к паспортным данным выправкой (рихтовкой) кривой.

*Способ Гоникберга.* Для того, чтобы снять положение кривой в плане, предварительно ее наружную нить разбивают на отрезки по 20 м. Разбивку пути на двадцатиметровые отрезки начинают на прямых участках на расстоянии 40 – 60 м от начала или конца кривой (рисунок 3.2).

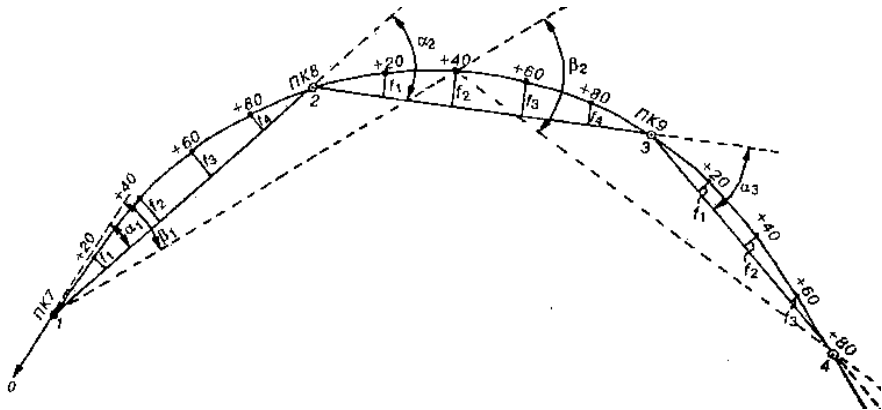


Рисунок 3.2 – Съемка кривой способом Гоникберга

Через каждые 100 м над головкой рельса устанавливают теодолит и производят два вида измерений. Сначала определяют величину угла поворота между направлением 0 – 1 и 1 – 2 (угол  $\alpha_1$ ). После этого, не сбивая

визирования на точку 2, измеряют стрелы прогиба на каждой «двадцатке» –  $f_1, f_2, f_3$ , и т. д. Стрелы прогиба измеряют по рейке, расположенной горизонтально, читая отсчеты по вертикальной нити сетки нитей теодолита.

Затем теодолит устанавливают в точке 2 и измеряют угол поворота  $\alpha_2$  (между хордами 1 – 2 и 2 – 3). Затем на «двадцатках» по рейке, расположенной горизонтально, считывают по вертикальной сетке нитей отсчеты, то есть определяют следующие стрелы прогиба  $f_1, f_2, f_3$  и т. д. Работа в такой последовательности продолжается до тех пор, пока не будет замерен теодолитом на точке 4 угол поворота.

После этого необходимо выполнить контрольные измерения. При этом возможны **два случая**:

- если вся кривая доступна обзору с конечных станций, то контроль осуществляется одной секущей (точка 1 – точка 4). Теодолит устанавливают на точку 1 и, визируя на точку 4, измеряют угол поворота  $\beta_1$ . Затем переносят инструмент на точку 4 и измеряют угол поворота  $\beta_2$  (1 – 4 – 0);

- если нет видимости на конечную точку, то выбирают промежуточную видимую контрольную точку, контрольные углы измеряют при двух или нескольких секущих.

Контролем правильности замера углов поворота хорд является равенство трех величин: суммы углов поворота хорд и суммы углов поворота секущих и обеих этих сумм полному углу поворота кривой.

Этот способ является довольно точным, но применение его затруднительно, а иногда невозможно на участках с интенсивным движением поездов.

### 3.3 Разбивка стрелочных переводов на кривых

В пределах станции, а в некоторых случаях даже на перегонах приходится укладывать стрелочные переводы на криволинейных участках пути. Чтобы не использовать стрелочные переводы, специально проектируемые для укладки на кривых, производят спрямление криволинейного участка и на нем укладывают стрелочный перевод.

Одиночные обыкновенные стрелочные переводы на кривых на спрямленных участках укладываются по одному из следующих способов.

*Спрямление по способу хорды.* При этом способе спрямленный участок лежит внутри основной кривой (рисунок 3.3).

В том случае если известны  $R$  – радиус основного пути,  $L$  – прямолинейный участок пути, на котором укладывают стрелочный перевод, и  $r$  – радиус сопрягающих кривых, угол  $\varphi$  определяют по формуле

$$\varphi = \arcsin L / 2(R - r).$$

Величина необходимой сдвижки



Рисунок 3.4 – Спрявление по способу касательной

Если известны  $R$ ,  $r$  и  $L$ , определяем

$$\varphi = 2 \operatorname{arctg} L / 2(R - r),$$

$$f_1 = f_2 = L / 2 \sin \varphi / 2 + r - R.$$

А координаты точек  $K$ ,  $C$  и  $A$  относительно точки  $D$ :

$$x = L/2 + r \operatorname{tg} \varphi / 2;$$

$$x_1 = L/2 + r \sin \varphi;$$

$$x_2 = R \sin \varphi;$$

$$y_1 = r (1 - \cos \varphi);$$

$$y_2 = R (1 - \cos \varphi).$$

### 3.4 Наблюдения за деформациями инженерных сооружений

В процессе строительства и после возведения инженерных сооружений возникает необходимость в наблюдении за их стабильностью как в плане, так и по высоте.

Изменения в пространственном положении сооружения называются деформациями. Всякое пространственное смещение сооружения может быть разделено на две составляющие: в плане и по высоте. Смещение сооружения в горизонтальной плоскости называют сдвигом, а в вертикальной – осадкой.

Числовые характеристики деформаций сооружения можно получить в результате геодезических измерений и наблюдений, которые ведутся по мере возведения сооружений, а также и после начала эксплуатации. Цель геодезических наблюдений за деформациями – получить данные, характеризующие величины осадок и смещений. Это необходимо для того, чтобы на основании полученных результатов своевременно разработать и принять меры по предотвращению возможных последствий.

Наблюдения за деформациями сооружений предусматривают следующие **основные этапы**:

- определение необходимой точности и периодичности измерений;
- создание опорной геодезической сети;
- выбор методики проведения необходимых измерений.



Наиболее существенной частью этих работ является выбор места размещения и закрепления опорных пунктов наблюдения. Они должны располагаться вне зоны возможных смещений. От правильного выбора точности и периодичности наблюдений зависят способы и средства измерений, а также достоверность полученных результатов.

Точность и периодичность проведения измерений указываются в нормативных документах. В особых случаях эти данные могут быть получены с помощью специальных расчетов.

В нормативных документах требования к точности определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются средней квадратической погрешностью. Она составляет:

1–2 мм – для зданий, длительное время находящихся в эксплуатации, а также возводимых на скальных грунтах;

2–5 мм – для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

5–10 мм – для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах;

10–15 мм – для земляных сооружений.

На оползневых участках осадки измеряются со средней квадратической погрешностью 30 мм, а горизонтальные смещения – 10 мм.

Методы и средства измерения вертикальных перемещений принимаются в зависимости от требуемой точности результатов. Измерения осадки с допустимой погрешностью от 1 до 2 мм и более высокой производятся методами геометрического и гидростатического нивелирования, с допустимой погрешностью 5 мм и более – геометрическим и тригонометрическим нивелированием, фотограмметрическими методами.

Самым распространенным способом наблюдения за осадками земляного полотна дороги является периодическое нивелирование осадочных марок (рисунок 3.5).

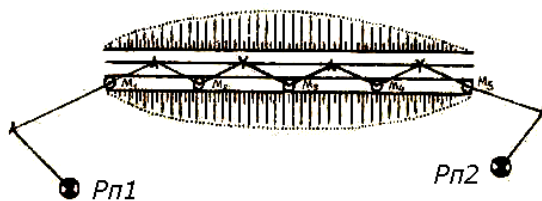


Рисунок 3.5 – Схема нивелирования осадочных марок

На исследуемом участке земляного полотна размещают осадочные марки  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  и т. д. Высотной основой, относительно которой определяются осадки, служат репера, расположенные, как отмечалось выше, вне зоны возможных смещений.

Нивелирование осадочных марок производят через равные промежутки времени (циклы) каждый раз по одной и той же схеме. По результатам

нивелирования в первом цикле определяют высоты осадочных марок. Сами осадки исследуемого участка земляного полотна определяют как разность высот одноименных марок в первом и последующих циклах наблюдений.

Для наглядного представления о ходе осадок составляют продольный профиль по результатам нивелирования в первом цикле наблюдений, относительно которого показывают величины осадок марок в последующих циклах.

Кроме осадок, земляное полотно дороги может подвергаться оползневым явлениям. Наблюдения за оползнями выполняются различными геодезическими методами. Эти методы, в зависимости от вида и активности оползня, направления и скорости его перемещения, подразделяют на **три группы**:

*осевые* (одномерные) – смещение расположенных на оползне марок определяют по отношению к заданной линии или оси;

*плановые* (двумерные) – смещения оползневых марок наблюдают по двум координатам в горизонтальной плоскости;

*пространственные* (трехмерные) – определяют полное смещение марок в пространстве по трем координатам.

Осевые методы применяют, когда направление движения оползня известно. К ним относятся:

- метод расстояний (рисунок 3.6, а), который заключается в измерениях расстояний по прямой линии между марками, установленными вдоль движения оползня;

- метод створов (рисунок 3.6, б), при котором определяется смещение в направлении, перпендикулярном движению оползня;

- лучевой метод (рисунок 3.6, в), заключающийся в определении смещения оползневой марки по изменению направления визирного луча с исходного знака на оползневой.

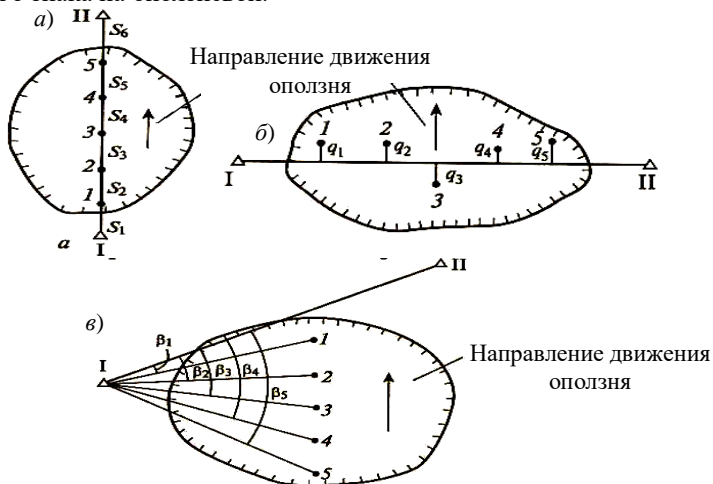


Рисунок 3.6 – Схемы наблюдений за оползнями:  
*a* – метод расстояний; *b* – метод створов; *в* – лучевой метод

К плановым относятся методы прямой, обратной, линейной засечки, полигонометрии и комбинированный метод, сочетающий измерение направлений, углов, расстояний и отклонение от створов.

Смещения оползневых марок определяют по отношению к опорным знакам, расположенным вне зоны оползневого участка. Периодичность наблюдения корректируется в зависимости от скорости движения оползня. Она увеличивается в период активизации и уменьшается в период угасания.

## **4 ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

### **4.1 Геоинформационные системы**

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

ГИС транспорта – информационно-управляющая автоматизированная система, призванная обеспечивать решение задач инвентаризации, проектирования и управления объектов железнодорожного и автомобильного транспорта.

ГИС можно представить в виде трехуровневой структуры, включающей системный уровень:

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

Отличия ГИС от других автоматизированных систем:

- на уровне сбора информации ГИС включают в себя отсутствующие в автоматизированных системах управления (АСУ) методы сбора пространственно-временных данных, технологии использования спутниковых навигационных систем, технологии реального масштаба времени и др.;

- на уровне хранения и моделирования ГИС включают в себя технологии пространственного анализа, применение цифровых моделей и видеобаз данных, а также комплексный подход к принятию решений;

- на уровне представления ГИС дополняют технологии АСУ применением интеллектуальной графики, что делает их более доступными и понятными для работников управления и органов власти.

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.

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:

- операции преобразования 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 представление и существенно различаться. 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: 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: цифровая модель рельефа (ЦМР), цифровая модель местности (ЦММ), цифровая модель объекта (ЦМО).

Цифровые модели широко используются в ГИС, САПР и АСУ.

ЦФС – это автоматизированные компьютерные системы обработки данных дистанционного зондирования, служащие для получения координатных данных, цифровых карт, ЦММ, ЦМР и ЦМО.

Развитие методов цифрового картографирования привело к появлению электронных карт. Они осуществляют динамическую визуализацию цифровых карт с помощью видеомониторов и соответствующего программного интерфейса. Электронные карты могут создаваться и как электронные атласы, и как навигационные системы. Их широко применяют для определения местоположения движущихся транспортных средств (режим реального времени). По существу электронные карты можно отнести к классу специализированных ГИС.

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.

Основной целью создания ГИС железнодорожного и автомобильного транспорта является обеспечение всех сфер его деятельности комплексной пространственно-координированной информацией.

Мощные инструментальные оболочки ГИС позволяют интегрировать в себя любые базы данных и существующие автоматизированные системы инвентаризации, проектирования и управления. В свою очередь, информация, полученная в результате работы ГИС, с успехом используется в автоматизированных системах инвентаризации (паспортизации), САПР и АСУ.

## **4.2 Современные методы топографических съемок автомобильных и железных дорог**

Использование современных методов топографических съемок значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку результатов измерений, исключает такие ошибки исполнителя, которые имеют место при визуальном взятии отсчетов, записи результатов измерений в журналы, в вычислениях.

К таким методам можно отнести съемки с помощью:

- спутниковых радионавигационных систем (СРНС);
- лазерных сканеров;
- комплексных систем;
- электронных тахеометров;
- объединенных систем.

### **4.2.1 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.

Спутниковая система NAVSTAR GPS (или кратко – GPS) сейчас является наиболее распространенной и широко используемой. Система состоит из трех секторов: это космический сектор, наземный сектор управления и сектор пользователей.

Космический сектор включает 24 искусственных спутника Земли (ИСЗ), обращающихся вокруг Земли по шести орбитам, близким к круговым, на высоте около 20 183 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.

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  $L1$  и  $L2$ , 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.

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 параметров, которые связывают положение аппаратуры пользователя с расположением спутников. В результате обработки измеренных параметров получают координаты приемника пользователя, а при необходимости, и скорость его движения.

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 «Космос-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 4.1.

Таблица 4.1 – 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 (рисунок 4.1), применяемой для выполнения кратковременных измерений. Управление приемником выполняется с помощью клавиатуры и дисплея контроллера (рисунок 4.2).



Рисунок 4.1 – Пример установки датчика



Рисунок 4.2 – Контроллер

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

#### 4.2.2 Съемка с помощью лазерных сканеров

В последнее время широкое распространение получил ещё один из методов наземных топографических съёмок – лазерное сканирование. Основным принципом лазерного сканирования является получение

объемного изображения объекта съемки (облако точек с трехмерными координатами) с помощью специальных устройств – сканеров (рисунок 4.3).

После сканирования полученное в результате облако точек обрабатывается так же, как и аналогичная съемка в поле. Только все действие происходит на экране компьютера: оператор устанавливает точку с помощью мыши и присваивает этой точке семантику. Можно работать и в AutoCADe с применением дополнительного ПО, которое сразу же делит все измерения на соответствующие слои и т. д.

С помощью интеграции точного двухосевого компенсатора наклона в наиболее популярную модель лазерного сканера был создан Leica ScanStation (см. рисунок 4.3) новый класс лазерных сканеров и новый уровень в развитии топографических съемок. Это первый инструмент, в котором объединены четыре фундаментальные функции тахеометра в одном сканере:

- полное поле зрения;
- точный двухосевой компенсатор наклона;
- точное измерение каждого импульса;
- большой диапазон измеряемых расстояний.



Рисунок 4.3 – Сканеры ScanStation,HDS6000

ScanStation имеет полное поле зрения, такое же, как и в тахеометре. Оператор может снимать любой объект, находящийся в зоне видимости сканера, без необходимости наклонять инструмент.

В сканере ScanStation установлен двухосевой компенсатор с разрешением 1", такой же, как и в тахеометрах Leica. Сканер можно устанавливать на точке с известными координатами, прокладывая тахеометрический ход, определять координаты стояния с помощью обратной геодезической задачи. Эти функции значительно снижают время и

стоимость полевых и офисных работ, а также делают сканер более универсальным при полевых работах.

Leica ScanStation выполняет каждое измерение с высокой точностью, с такой же, как и тахеометр. Сканер обладает очень малым шагом сканирования и малым лазерным пятном даже на большом расстоянии. Это позволяет достигать оптимального контроля при уравнивании данных в проекте.

Съемка дорог имеет большую сложность при проведении самих работ, так как экономически не выгодно останавливать все движение. Здесь просто невозможно обойтись без применения лазерного сканера. Даже если по снимаемому участку дороги безостановочно едут автомобили и в результате будет множество измерений, отраженных от автомобилей, то при обработке в программе *Cyclone* (Циклон) можно просто выбрать одну точку, принадлежащую дорожному покрытию и включить функцию построения сглаженной поверхности. Далее программа выберет автоматически все точки, которые лежат на плоскости в пределах, заданных параметрами построения этой поверхности: максимальное отстояние от среднего уровня, угол возвышения, наибольшее расстояние между двумя соседними точками и наибольший диапазон поверхности. Такая функция позволяет без вмешательства человека отобрать только те точки, которые принадлежат дороге, и построить по ним трехмерную поверхность. Также в программе *Cyclone* есть новая функция автоматического профилирования снятых дорог: по нескольким параметрам автоматически строится средняя линия дорожного полотна и также автоматически строятся профили через заданное расстояние, включая все необходимые отчеты.

#### **4.2.3 Съемка с помощью комплексных систем**

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 4.4) используется для геодезического обеспечения и контроля процессов эксплуатации железнодорожного пути. Система состоит из двух главных компонентов: электронных тахеометров *LEICA TPS1100plus*, программного обеспечения *LEICA TMS Office*, *LEICA TMS SETOUT*, *LEICA TMS PROFILE*.



Рисунок 4.4 – Система *LEICA TMS*

Автоматическое измерение профилей и определение геометрии пути осуществляется на базе технологии измерения (рисунок 4.5). 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.

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



Рисунок 4.5 – Определение геометрии пути и геометрии рельсов, а также своевременного обнаружения возможных источников аварийных ситуаций;

автоматического измерения профилей с целью контроля процесса выработки пород, неразрушающего контроля толщины бетонных стен в туннелях, контроля просвета туннеля, получения достоверных данных о состоянии туннеля для проведения ремонтных работ и др.

Преимущества использования таких систем, очевидно:

- повышение безопасности путем обеспечения высокой точности местоположения и своевременного обнаружения возможных источников аварийных ситуаций;
- повышение скорости и увеличение частоты прохождения поездов;
- уменьшение затрат по реконструкции;
- уменьшение времени простоя и остановки железнодорожного движения;

- гибкость и многофункциональность применения системы.

#### 4.2.4 Съемка с помощью электронных тахеометров

Электронным тахеометром называется прибор, объединяющий в себе светодальномер, электронный теодолит и микроЭВМ (рисунок 4.6). Ведущие производители электронных тахеометрических систем: Spectra Precision (Швеция/Германия), Leica (Швейцария), Sokkia, Topcon, Nikon, Pentax (Япония), Trimble (США), УОМЗ (Россия).

Светодальномер прибора измеряет расстояние до отражателя, устанавливаемого на штативе или укрепленного для оперативности в работе на переносимой с точки на точку вешке. МикроЭВМ обеспечивает возможность решения целого ряда стандартных геодезических задач, для чего электронный тахеометр снабжен набором необходимых прикладных программ. Полученная в ходе измерений информация высвечивается на цифровом табло, а также регистрируется во внутренней памяти прибора и на флэш-картах для последующего ввода в компьютер с целью дальнейшей обработки.

Электронный тахеометр имеет панель управления. На панели управления расположены клавиатура, служащая для управления процессом измерений и ввода информации вручную, и дисплей. Ввод информации и управление возможны и с дистанционного пульта управления (контроллера).

Тахеометр может иметь световой указатель створа, облегчающий установку вехи с отражателем на линию, по которой направлена труба прибора. Если отражатель находится справа от визирной оси, то указатель светит красным цветом, если слева – зеленым.

Программное обеспечение электронных тахеометров поддерживает решение достаточно широкого круга задач. Обычно бывает предусмотрен ввод и сохранение данных о станции: ее координат, номера точки, высоты прибора, имени оператора, даты, времени, сведений о погоде (ветре, температуре, давлении).

По результатам измерений выполняется вычисление горизонтальных и вертикальных углов, дирекционных углов линий, горизонтальных проложений, превышений, высот точек, где установлены отражатели, приращений координат, плоских и пространственных координат наблюдаемых точек. Предусмотрена возможность вычисления координат по



Рисунок 4.6 – Электронный тахеометр SOKKIA

результатам засечек, вычисления расстояния до недоступной для установки отражателя точки и координат недоступной точки, определения высоты недоступного объекта. Для обеспечения разбивочных работ служат программы вычисления угла и расстояния для выноса точки с заданными координатами. При решении задач учитывается рефракция световых лучей в атмосфере.

Использование электронных тахеометров значительно повышает производительность труда, упрощает и сокращает время на обработку результатов измерений, исключает такие ошибки исполнителя, которые имеют место при визуальном взятии отсчетов, записи результатов измерений в журналы, в вычислениях. При работе с электронным тахеометром отпадает необходимость иметь калькулятор для выполнения полевых вычислений. Поэтому электронные тахеометры нашли самое широкое применение при съемке железнодорожных путей и автомобильных дорог.

#### 4.2.5 Съемка с помощью комбинированных систем

Впервые в мире тахеометр и спутниковый приемник объединены в одну систему SmartStation. Высокопроизводительный тахеометр с мощным GNSS приемником показан на рисунке 4.7.

Преимуществом данной системы является то, что при съемке нет необходимости в наличии опорного обоснования, прокладке длинных ходов и выполнении обратных засечек. SmartStation устанавливается там, где удобно, GNSS приемник определит местоположение, и можно начинать съемку производительным, быстрым и эффективным тахеометром. Полная совместимость с GPS предоставляет новые возможности при выполнении съемок: съемка легче, быстрее и с меньшим количеством перестановок.



Рисунок 4.7 – Система SmartStation

Одной из последних разработок в области систем подобного типа – это система SmartPole (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Система SmartPole

SmartPole – мощная система управления данными, множество функций и возможностей для точных и быстрых измерений, простая и надежная в использовании. SmartPole является самой революционной геодезической системой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) : учеб. для студ. вузов ж.-д. трансп. / С. И. Матвеев [и др.] ; под общ. ред. 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 Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах / Д. И. Власов, В. Н. Логинов. – М. : Транспорт, 1968. – 518 с.
- 4 Электронные геодезические приборы и работа с ними : учеб.-метод. пособие / 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.

Учебное издание

*АТРОШКО Евгений Кузьмич*  
*МАРЕНДИЧ Валентин Борисович*  
*ТКАЧЕВ Андрей Александрович*

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Инженерная геодезия»

Редактор Н. А. Д а ш к е в и ч  
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 21.01.2011 г. Формат 60x84  $\frac{1}{6}$   
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,3. Тираж 300 экз.  
Зак. № . Изд. № 71.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.  
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.