

# Изыскания трасс линейных сооружений



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

К *линейным ГТС* относятся плотины, дамбы, безнапорные и напорные трубопроводы, подводящие и отводящие каналы, шлюзы, туннели, дюкеры, льдозащитные стенки, берегоукрепительные сооружения, ограждающие валы, мелиоративные каналы.

# Трасса. Технические условия проектирования трассы

**Трасса** – линия, определяющая положение оси проектируемого линейного сооружения на местности, плане или карте.

Основными элементами трассы являются план и продольный профиль.

*План* – проекция трассы на горизонтальную плоскость.

*Продольный профиль трассы* – вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения.

В ходе инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений в первую очередь решается вопрос о плановом и высотном положении трассы.

В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению строительных и эксплуатационных затрат.

Начальная и конечная точки трассы определяются в задании на проектирование. Прямая линия, соединяющая эти точки, называется **воздушной прямой**. Вследствие наличия на местности различных препятствий, трасса, как правило, не является воздушной прямой, а представляет собой сложную пространственную линию, состоящую:

- в плане - из прямых участков разного направления, которые могут сопрягаться круговыми и переходными кривыми;
- в продольном профиле - из линий различного уклона, которые могут соединяться между собой вертикальными кривыми.

Трассу прокладывают участками между фиксированными точками руководствуясь проектным уклоном трассирования.

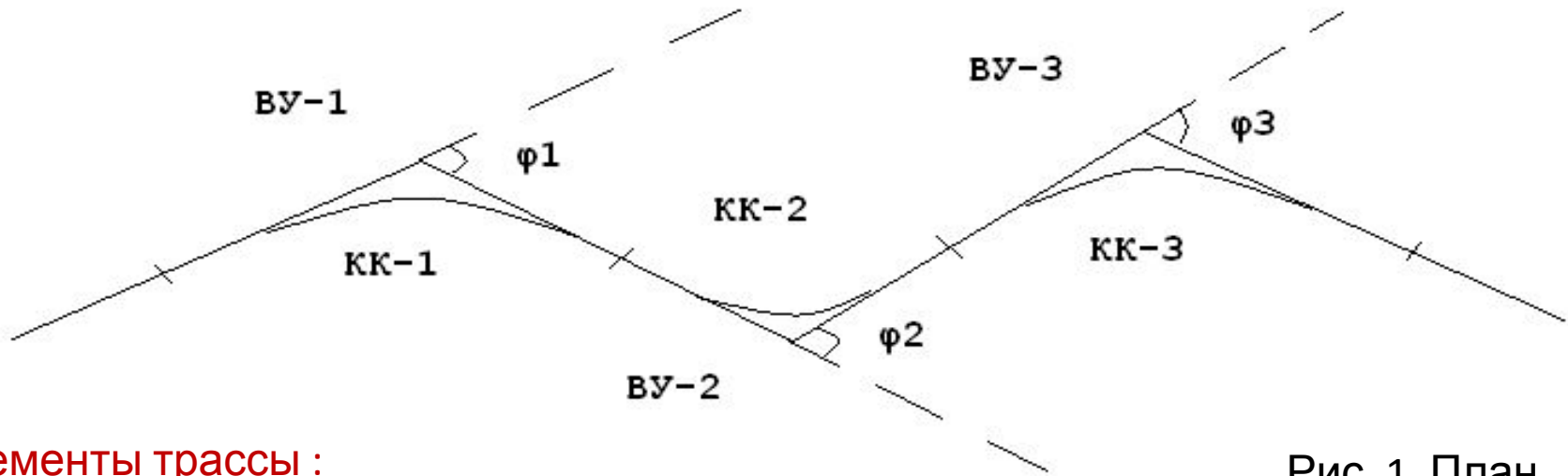


Рис. 1. План трассы

**Элементы трассы :**

*Прямой участок* - от ВУ до ВУ;

*Угол поворота трассы ( $\varphi$ )* - угол, образованный при вершине угла поворота трассы продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны.

*КК- круговая кривая ( $R = \text{Const}$ ) или переходная кривая ( $R \neq \text{Const}$ )* – кривая в плане ;

*ВК – вертикальная кривая ( $R = \text{Const}$ )* – кривая в профиле.

*Линии продольного уклона* – прямые, образующие линию продольного профиля.

**Параметры трассы:**

наименьшие допустимые

радиусы круговых кривых  $R_{min}$

наибольшие или наименьшие

допустимые уклоны  $i_{max}, i_{min}$

Параметры трассы задаются

техническими условиями на её

проектирование.

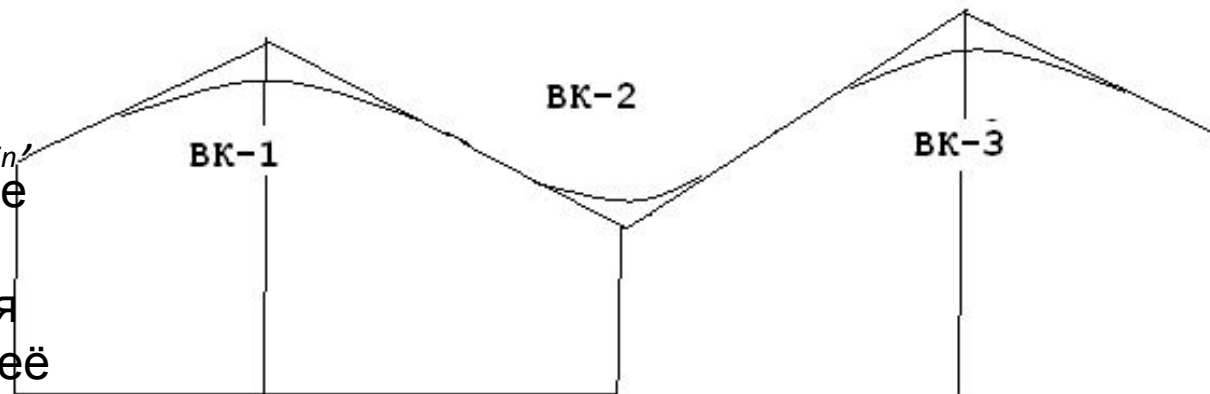


Рис. 2. Профиль

**Трассирование линейных сооружений** – это комплекс проектно-изыскательских работ, выполняемых для выбора оптимального положения линейного сооружения на местности.

Как правило, разрабатывается несколько вариантов трассы, а оптимальный вариант находится путем технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов.

Трассирование называется **камеральным**, если положение трассы определяют по картам, планам или аэрофотоснимкам, и **полевым**, если положение трассы определяют непосредственно на местности.

Как правило, вначале выполняется камеральное трассирование, а затем полевые работы (полевое трассирование). При проектировании линейных сооружений, для которых **уклоны местности не являются определяющими** (линии электропередачи, связи), а также автомобильных и железных дорог в равнинной местности положение трассы определяется контурными препятствиями, т. е. трассирование ведут **«вольным ходом»**. При этом трассу прокладывают по направлению воздушной прямой, обходя при этом, по возможности, препятствия (населенные пункты, озёра, ценные леса, сельскохозяйственные угодья, месторождения полезных ископаемых, запретные зоны и т. д.). Каждый угол поворота дает некоторое удлинение трассы, относительная величина которого подсчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{AC - AB}{AB},$$

где  $AB$  - длина воздушной трассы;

$AC$  - длина проектной трассы.

В зависимости от величины угла поворота, относительное удлинение будет равно:

Углы поворота	10°	20°	30°	40°	50°	60°
Относительное удлинение	1,5%	6,4%	15,5%	30,5%	55,5%	100%.

Отсюда следует, что углы поворота 10°-20° незначительно удлиняют трассу.

Сопряжение прямолинейных участков трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов делается при помощи круговых кривых. Требования в отношении радиусов горизонтальных круговых кривых касаются преимущественно их минимально допустимых значений, хотя очень большие радиусы также нежелательны.

Для получения наиболее короткой трассы необходимо придерживаться следующих правил трассирования:

- а) трассу прокладывать по прямой линии от одного контурного препятствия к другому. Необходимость отклонения трассы от прямой линии и назначение угла поворота в каждом случае должны быть обоснованы;
- б) вершину углов поворота выбирать против середины препятствия с таким расчетом, чтобы трасса огибала это препятствие;
- в) углы поворота стремиться иметь по возможности наименьшие, чтобы минимально удлинить трассу.

Важнейший из параметров профиля трассы — ее продольный уклон.

Особенно малые значения уклонов применяются на трассах ирригационных и водопроводных каналов. Уклоны здесь назначают из расчета получения так называемых неразмываемых и незаиляемых скоростей течения воды по каналу. При этом уклоны оказываются порядка  $0,01—0,20\text{‰}$ . На трассах напорных трубопроводов уклоны могут быть весьма значительными, а на ЛЭП они практически не регламентированы.

Выдержать при трассировании заданный продольный уклон, особенно в сложной пересеченной местности, трудно, приходится не только значительно отступать от прямолинейного следования трассы, но и сознательно увеличивать длину трассы. Необходимость развития трассы чаще всего возникает в горной и предгорной местности.

Так как уклоны горной местности превосходят допустимые уклоны трассы  $i_{max}$ , то трассирование ведётся **«напряженным ходом»**, когда каждая линия задается предельным уклоном. Чтобы выдержать этот уклон, приходится удлинять трассу, т. е. иначе производить развитие проектируемой линии. В зависимости от характера местности применяют различные приёмы развития линии: извилины, петли, спирали, серпантины при этом углы поворота, радиусы круговых кривых и длины прямых подбирают с учетом конфигурации рельефа.

Для плавного сопряжения отдельных элементов профиля (подъемы, горизонтальные площадки, спуски) устраивают вертикальные кривые. Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой

# Стадии инженерно-геодезические изыскания линейных сооружений

Изыскания линейных сооружений выполняют с целью определения в процессе проектирования оптимального положения трассы сооружения.

Изыскания трасс проводят в полном соответствии со стадиями проектирования: технико-экономическое обоснование – ТЭО, технический проект – ТП, рабочая документация – РД. Проектирование магистральных трасс *значительного протяжения* обычно выполняют в две стадии (проект и рабочая документация). Проектирование трасс относительно *небольшой протяженности* можно выполнять в одну стадию (рабочий проект). В соответствии со стадиями проектирования различают следующие этапы изыскания трасс: **допроектные, проектные, предпостроечные изыскания**. На каждом этапе повышается детальность изыскательской информации с привлечением новых фактов, учитываемых при проектировании.

**Допроектные** изыскания проводят для технико-экономического обоснования (ТЭО) строительства, преимущественно, магистральных трасс. Целью этих изысканий является сбор необходимых топографических, геологических, экономических и других материалов и данных для выбора **принципиального направления трассы**, обоснования технической возможности и экономической целесообразности строительства, проведения оценки объемов и стоимости работ.

Выбор вариантов направлений трассы выполняют по укрупнённым показателям преимущественно камеральным путем по имеющимся топографическим картам мелких масштабов (1:50 000-1:500 000), аэрофотоснимкам прошлых лет.

На стадии технического проекта на местности выбирается оптимальное положение трассы, устанавливаются технические параметры, конструкция основных сооружений и полная стоимость строительства.

Задачами **проектных изысканий** трассы являются:

- выбор по заданному в техническом задании принципиальному направлению **оптимального варианта** трассы путем технико-экономического сравнения вариантов;
- сбор материалов для разработки проекта трассы и всех сооружений на ней;
- составление сметы строительства.

Варианты трассы по принципиальному направлению выполняют путем **камерального трассирования** по картам масштабов 1:10 000 - 1:25 000. В результате сравнения отбирают варианты для полевого обследования.

При отсутствии указанных топографических карт производят **полевое трассирование**. По намеченным вариантам прокладывают магистральные нивелирно - теодолитные или тахеометрические ходы, являющиеся основой маршрутной топографической съемки, с разбивкой пикетажа и съемкой рельефа и ситуации вдоль магистрального хода.

По результатам камерального и полевого трассирования путем технико-экономического сравнения выбирают **оптимальный вариант**



На стадии рабочей документации уточняются все конструктивные решения, проводится окончательная укладка трассы и закрепление её на местности.

**Предпостроечные** изыскания производят после утверждения наиболее целесообразного варианта, выбранного на предыдущем этапе изысканий. *Целью предпостроечных изысканий является вынос и закрепление на местности трассы с поиском местных улучшающих вариантов без изменения принятого основного направления.*

В этот период проводят сбор полных и точных материалов и данных топографо-геодезических крупномасштабных съемок пересечений трассы, переходов через водотоки, площадок под сооружения, путепроводные развязки и т. д., необходимых для разработки рабочей документации, а также материалов детальных геологических, гидрологических и других съемок.

Окончательно закрепленную трассу сдают по акту строительной организации, проводя при необходимости ее восстановление непосредственно перед строительством.

## Камеральное трассирование

Камеральное трассирование выполняют на топографических картах и планах, масштаб которых зависит от стадии проектирования.

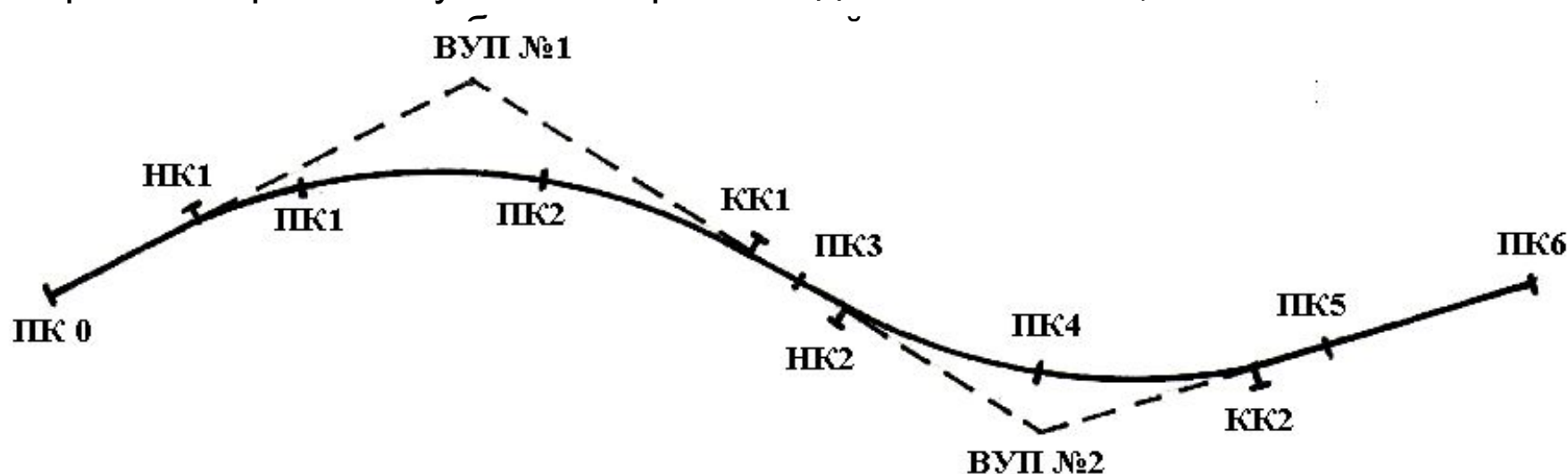
Масштаб карты или плана	Высота сечения рельефа, м		Назначение материалов	Использование на стадиях проектирования
	Равнины	Горные районы		
1:500 000	20	40	Определение общего направления трассы. Выбор и ориентирование опорных пунктов и фиксированных точек трассы. Разработка вариантов, выбор принципиального направления.	ТЭО, проект
1:200 000	10	20		
1:100 000	5	10		
1:50 000	5	10(5)	Составление ситуационных планов. Трассирование вариантов и линий различного протяжения.	То же
1:25000	2,5	5		
1:10 000	2	5		
1:5000	1	2	Трассирование в сложных условиях или линий короткого протяжения.	Проект, рабочая документация, рабочий проект
1:2000	1	2	Составление генеральных планов. Трассирование в особо сложных условиях.	То же
1:1000	1	0,5	Составление генеральных планов	То же

# Полевое трассирование

Основой для полевого трассирования служат материалы камерального трассирования. Вынесение проектного положения трассы с карты на местность с поиском улучшений (полевое трассирование) и её закрепление называют **разбивкой трассы**.

При разбивке трассы выполняют следующие *геодезические работы*:

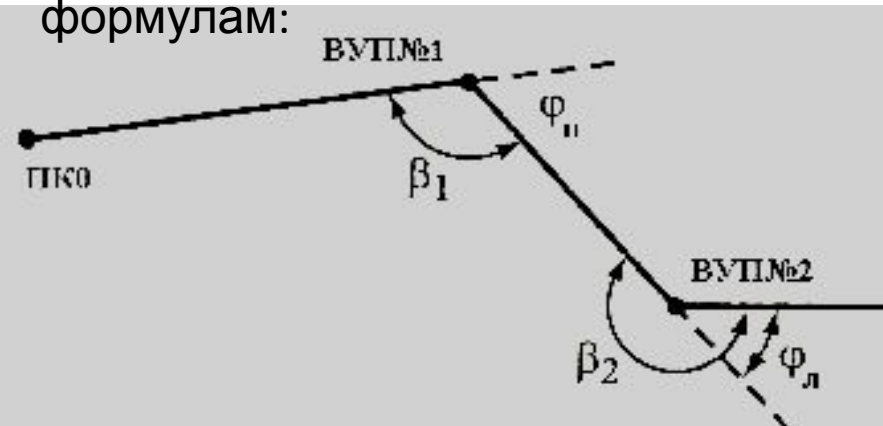
- закрепление вершин углов поворота трассы;
- вешение прямолинейных участков трассы между вершинами углов поворотов;
- измерение длин линий и углов поворота трассы;
- разбивка круговых и переходных кривых;
- разбивка пикетажа, плюсовых точек и точек поперечников;
- съемка полосы местности вдоль трассы;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



Проект трассы выносят на местность по данным привязок вершин углов поворота к местным предметам или к пунктам геодезической опорной сети.

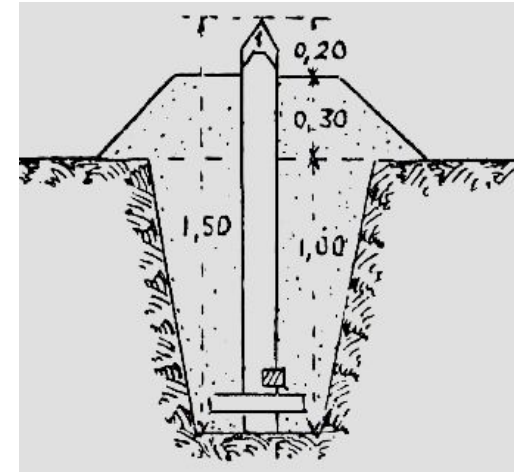
Выбранные на местности вершины углов поворота трассы закрепляют деревянными столбами (рис.).

Между закрепленными вершинами прокладывают теодолитный ход, измеряя способом приемов правые по ходу углы (рис.) и длины сторон. По измеренным углам ( $\beta$ ), вычисляют углы поворота трассы ( $\phi$ ) по формулам:



$$\phi_n = 180^0 - \beta$$

$$\phi_l = \beta - 180^0$$



Закрепление  
вершин углов  
поворота

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

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  $2^\circ$  непосредственно измеренные длины вводят поправки за наклон. По результатам измерений и данным плановой привязки трассы вычисляют координаты вершин углов поворота.

## Разбивка пикетажа, плюсовых точек и поперечников. Съемка дорожной полосы. Пикетажный журнал

Перед измерением длин линий трассы проводят **вешение прямолинейных участков трассы** между вершинами углов поворота. Вешение выполняют теодолитом способом «на себя», с установкой створных вех через каждые 200–250 м в зависимости от рельефа местности.

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

Кроме пикетов по всей трассе 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).

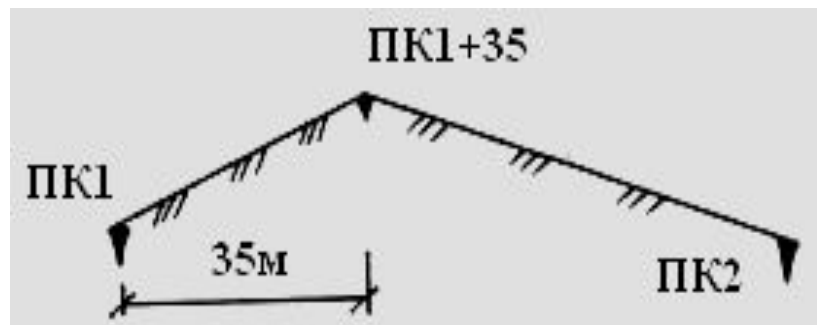


Рис. – Плюсовая точка

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

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

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

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

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

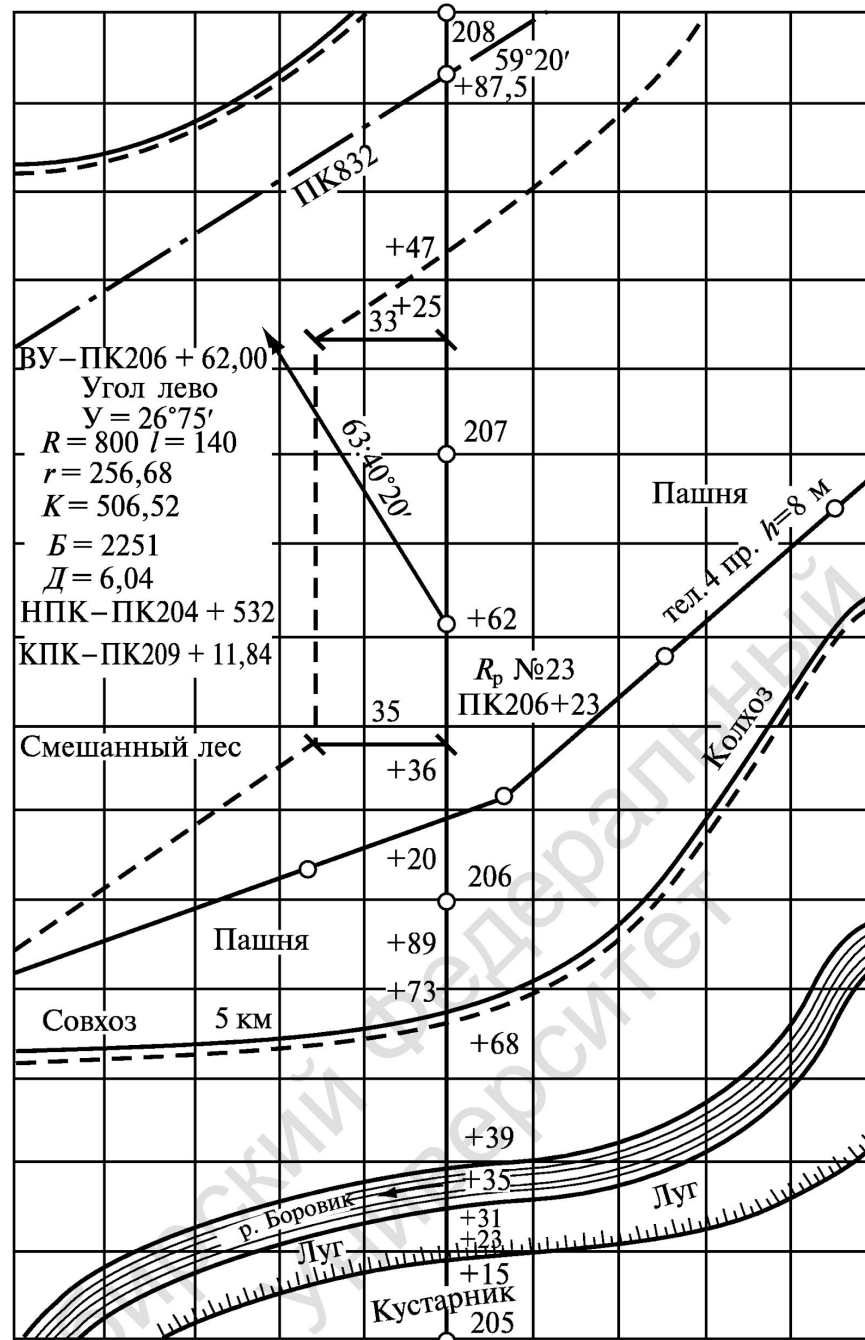


Рисунок – Пример оформления пикетажного

# Круговые кривые, их элементы и главные точки.

## Разбивка главных точек круговых кривых

В плане ось трассы представляет собой сочетание прямых и кривых участков. В каждой вершине поворота трассы две смежные линии ее сопрягаются кривой.

**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),  
*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 – тангенс ( $T$ ), расстояние от вершины угла поворота (ВУП) до начала или конца кривой;

4 – длина кривой ( $K$ ), расстояние от ее начала до ее конца;

5 – биссектриса кривой ( $B$ ), расстояние от вершины угла поворота до середины кривой;

6 – домер ( $\Delta$ ), показывающий на сколько путь от начала до конца кривой

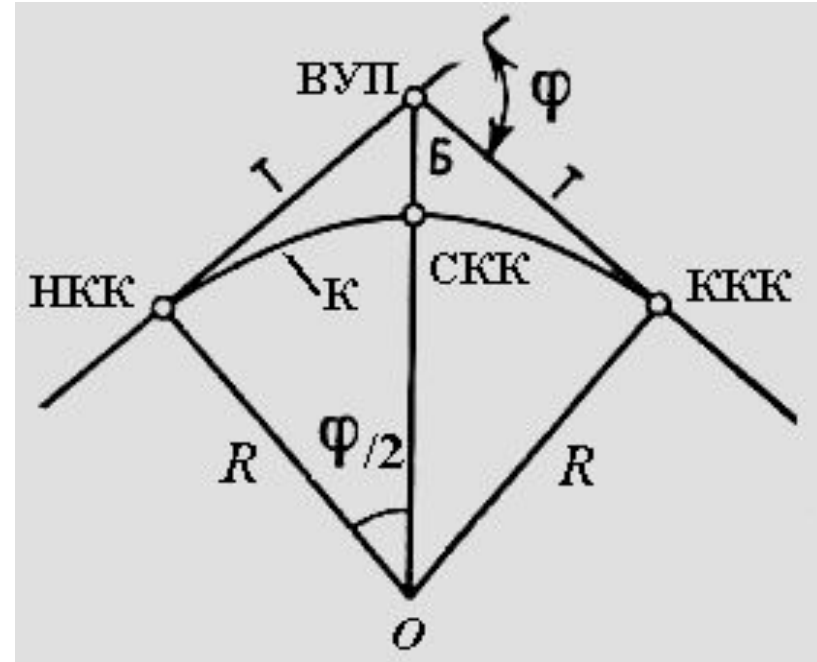


Рисунок – Основные элементы круговой кривой



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 (О – НКК – ВУП) на рисунке по следующим формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \varphi/2;$$

$$K = \pi R \varphi^0 / 180^0;$$

$$B = (R / \cos \varphi/2) - R;$$

$$D = 2T - K.$$

По вышеприведенным формулам составлены таблицы, в которых по известным  $\varphi$  и  $R$  находят элементы  $T$ ,  $K$ ,  $B$  и  $D$ .

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 О на местности не определяется и не обозначается.*

## 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:

$$\text{НKK} = \text{ВУП} - T;$$

$$\text{ККК} = \text{НKK} + K;$$

$$\text{СКК} = \text{НKK} + K/2;$$

Контроль:

$$\text{ККК} = \text{ВУ} + T - D;$$

$$\text{СКК} = \text{ВУП} - D/2.$$

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

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

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

Вычисление пикетажа

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

Контроль

ВУП.....ПК4 + 28,30  
 + Т..... 86,65

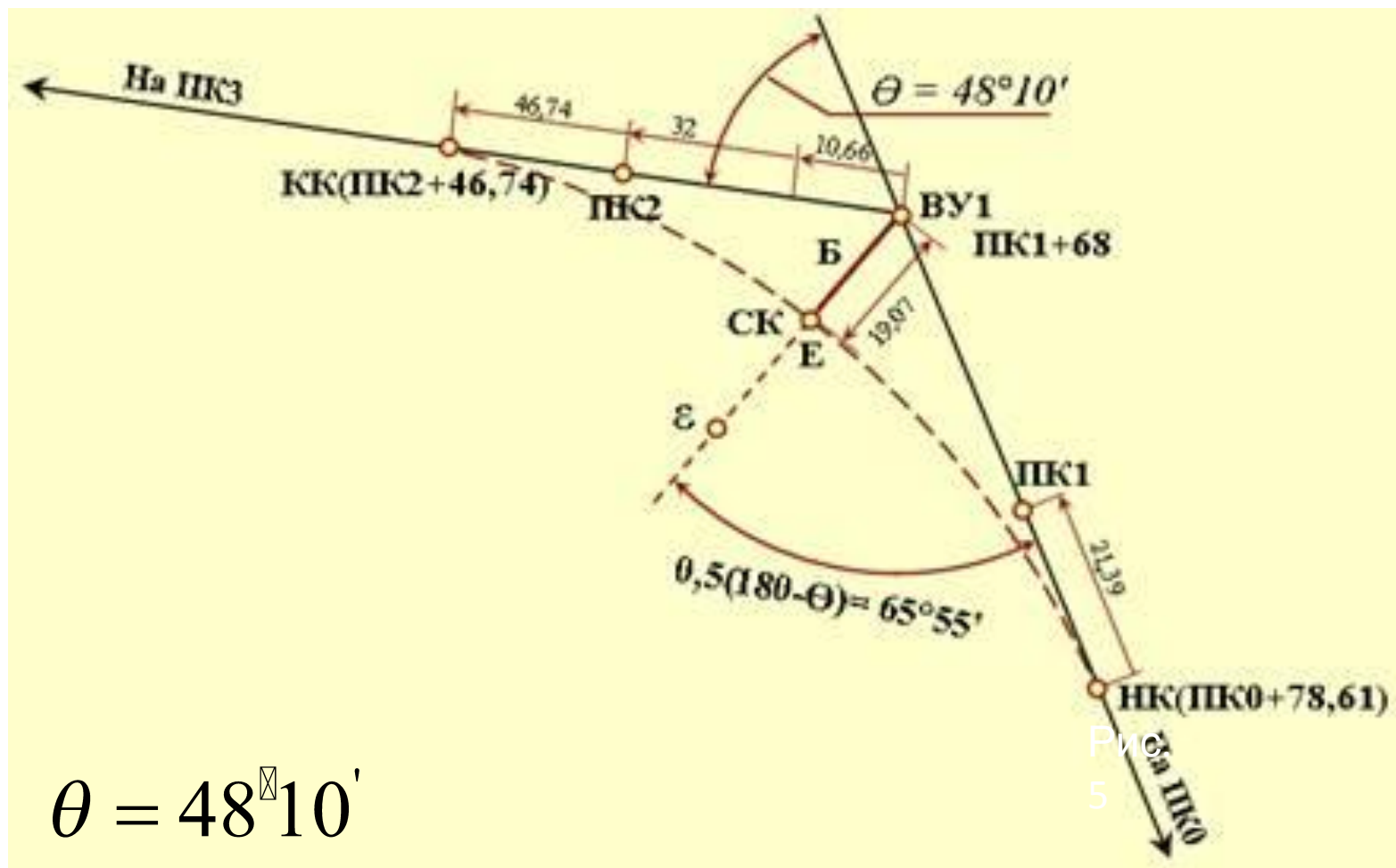
-----  
 Σ.....ПК5 + 15,15  
 - Д ..... 2,65

-----  
 ККК.....ПК5 + 12,50

ВУП.....ПК4 + 28,30  
 - Д/2..... 1,32

-----  
 СКК.....ПК4 + 26,98.

# Определение положения главных точек кривой на трассе



$$R = 200; T = 89,39; K = 168,13; D = 10,65; \quad = 19,07$$

После проложения теодолитного хода определили, что угол поворота трассы равен  $48^{\circ}10'$ , а вершина угла находится на расстоянии 68 м от ПК1. Требуется определить положение главных точек кривой на трассе. Поскольку тангенс кривой (Т) больше, чем расстояние от ПК1 до вершины угла, то для обозначения точки начала кривой (НК), нет необходимости проводить измерения от вершины угла, а достаточно будет отложить расстояние 21,39 м ( $89,39 - 68$ ) от ПК1 в сторону ПК0. Конец этого отрезка закрепляют колом со сторожкой, на котором записывают: НК (ПК0+78,61).

Прежде чем откладывать от ПК2 точку, обозначающую конец кривой, находят положение самого ПК2. Для этого сначала от вершины угла откладывают по новому направлению трассы величину домера (в данном случае 10,65 м) и принимают, что пикетажное значение конца этого отрезка равно пикетажному значению ВУ (для нашего примера ПК1+68 м). Следовательно, ПК2 должен находиться в 32 м от конца домера. Отложив 32 м, закрепляют ПК2 и ведут дальнейшую разбивку пикетажа по трассе. Конец кривой (КК) должен находиться на удалении 46,74 м от ПК2. Итак, пикет, включающий вершину угла поворота, длиннее других на величину домера. Но после переноса этого пикета на кривую он становится равным 100 м

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

**Пример.** Вынести на круговую кривую с  $R = 400$  м пикет 4, лежащий на тангенсе. Для этого вычисляют расстояние  $K$  от НКК до ПК4:

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

Далее с помощью калькулятора вычисляют:  $\varphi = \frac{180^\circ \cdot K}{\pi R}$ ;  $x = R \cdot \sin \varphi$ ;  $y = 2R \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ .

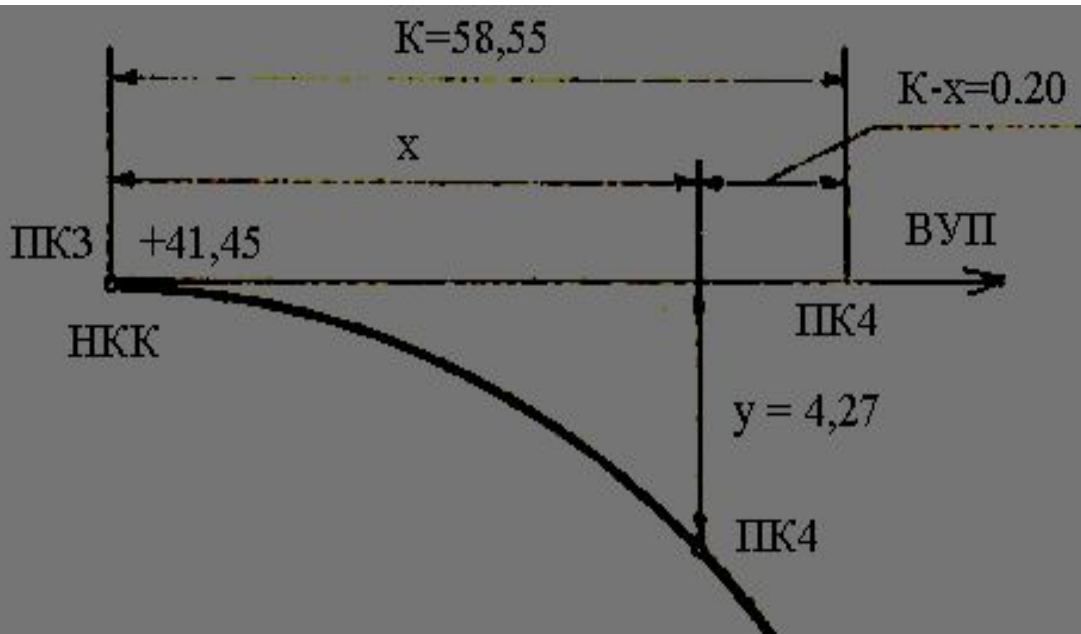


Рисунок – Вынос пикета с тангенса на кривую

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

Или по таблицам, интерполируя, находят значение  $(K - x)$  и ординаты  $(y)$ .

При  $K = 58,55$  м получим

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

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

## 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 наиболее распространенный способ привязки.

Север

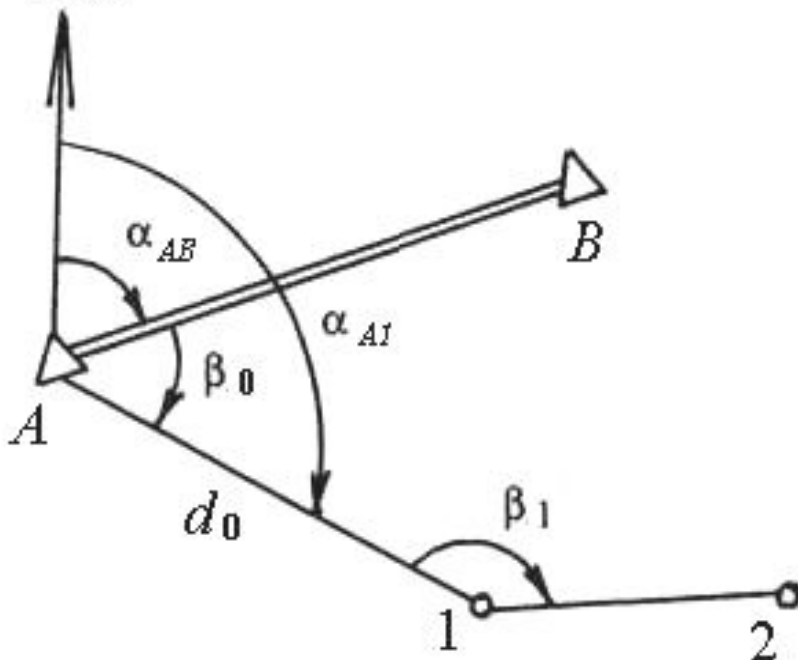


Рисунок – Схема привязки трассы

### Привязка трассы к близлежащим пунктам опорной сети

Пусть на местности имеется два пункта опорной геодезической сети  $A$  и  $B$  (рисунок). 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  $A-1$ :

$$\alpha_{A-1} = \alpha_{AB} + \beta_0.$$

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

$$X_1 = X_A + d_0 \cos \alpha_{A1};$$

# Нивелирование трассы и поперечников. Журнал нивелирования

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

Нивелирование трассы производят путем проложения вдоль трассы инженерно-технического нивелирного хода состоящего из нескольких станций.

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз». При этом в зависимости от увеличения зрительной трубы связующие точки можно брать через 100 или через 200 м. В первом случае ими будут служить

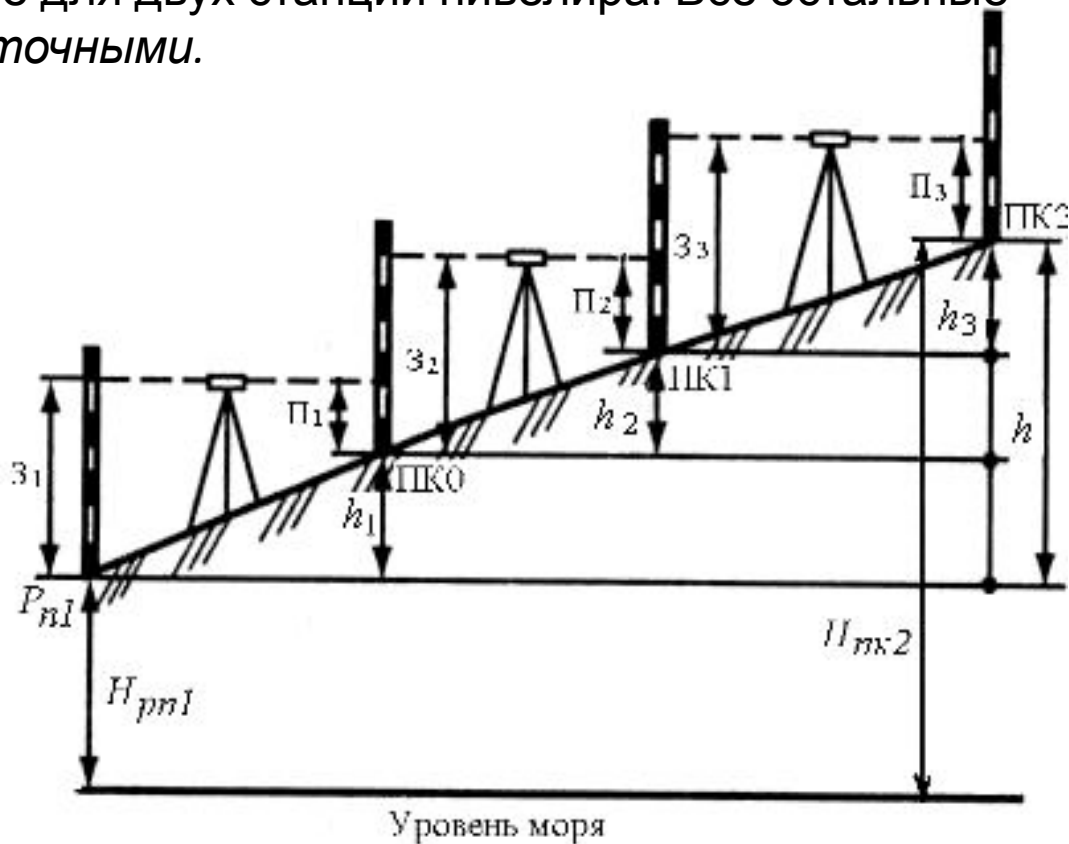


Рисунок – Порядок нивелирования по трассе



Превышения между связующими 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 нивелирование трассы методом из середины при расстояниях в 50 м от нивелира до связующих точек (см. рисунок).

$$h = h_1 + h_2 + h_3 = \sum h_i = \Sigma(Z - П) = \Sigma Z - \Sigma П; H_{пк2} = H_{рп1} + \sum h_i.$$

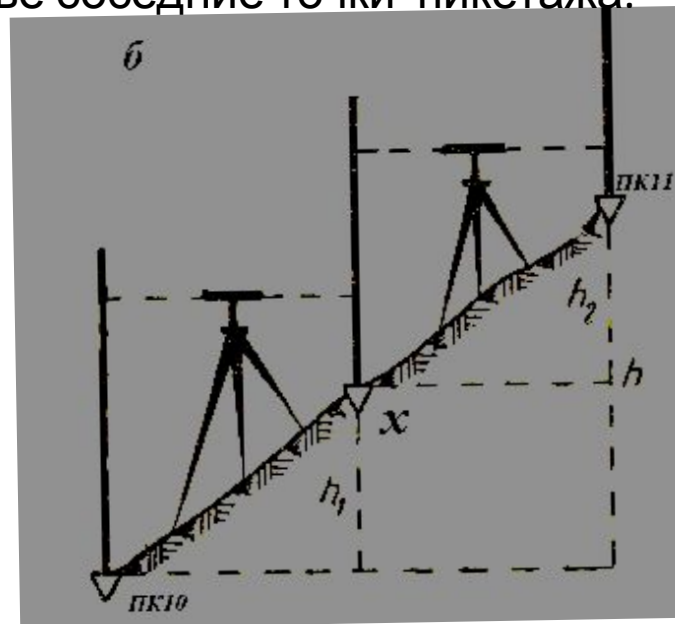
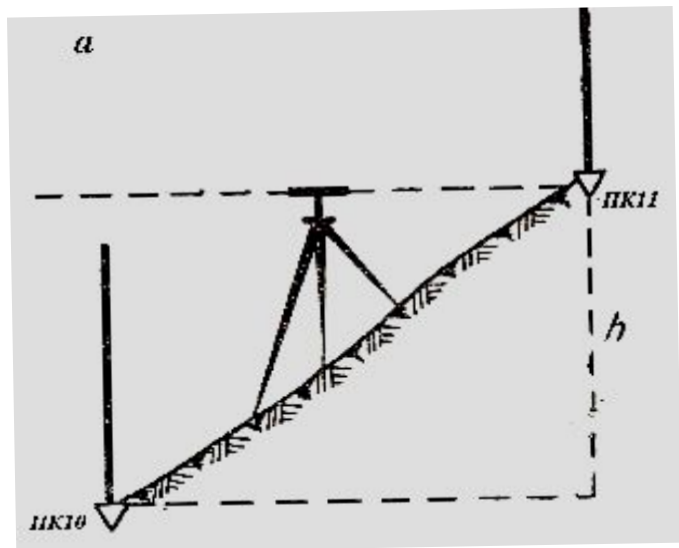
Если отсутствует второй нивелир, то трассу нивелируют по разбитому пикетажу два раза: в прямом и обратном направлениях. Высотная привязка трассы к реперам производится нивелирными ходами от реперов до точек трассы. В качестве связующих точек, если позволяют условия местности, надо выбирать соседние пикеты и нивелировать с одной станции все промежуточные точки между ними.

При нивелировании трассы отсчеты записывают в журнал нивелирования.

Таблица – Журнал нивелирования трассы

Номер станции	Наблюдаемые точки	Отчеты по рейке			Превышения		Средние превышения		Горизонт нивелира	Абсолютные (условные) отметки
		задней	передней	промежуточная	+	-	+	-		
					6	7	8	9		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Рп №1	343								59,667
	ПК 0	5132	1628			1285		+2		58,385
2	ПК 0		6415			1283		1284		58,385
	+20	1134		944						58,385
	+60	5921		712		900		+2	59,519	58,575
3	ПК 1		2034			898		899		58,807
	+80	482								57,488
	ПК 2	5269	975	815		493		+2	57,970	57,155
			5762	2248	1110		493		493	55,722
	Σ	18231	23633					-2676		56,860
Контроль: $(\Sigma Z - \Sigma P)/2 = (18281 - 23633)/2 = -2676$ ; $\Sigma h_{cp} = -2676$ .										

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.



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

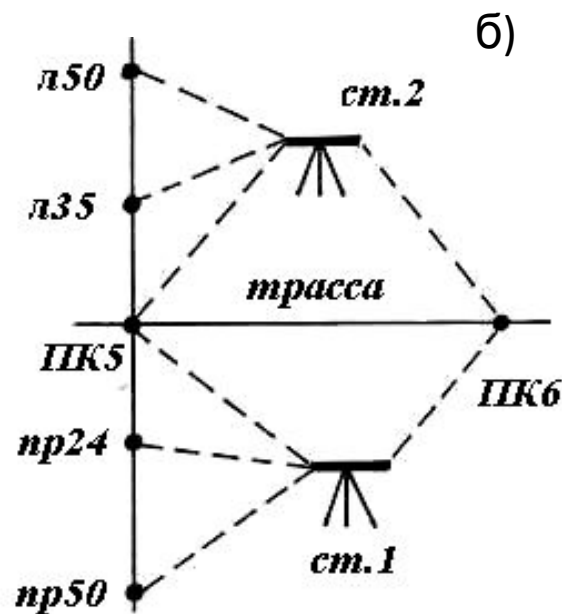
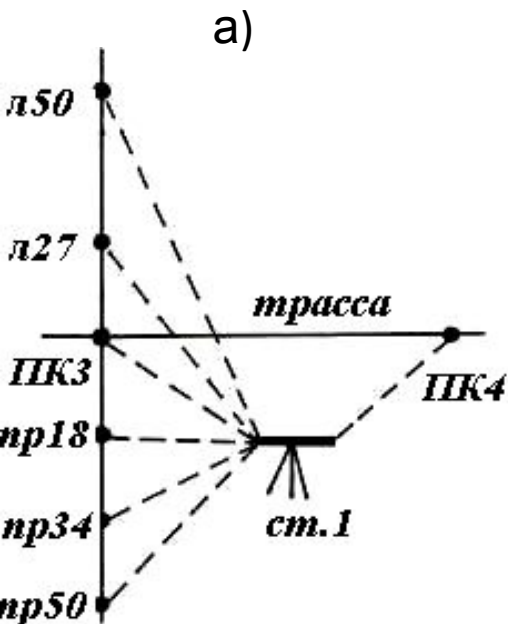
Поперечники – это прямые линии, перпендикулярные к направлению трассы. Разбивают их обычно с помощью эккера или теодолита на 20–50 м влево и вправо от оси трассы. Если позволяют условия местности, то нивелирование поперечников производят с ближайших к ним станций продольного нивелирования трассы. В противном 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.

Станции нивелирования на поперечниках выбирают так, чтобы были видны отсчеты на все характерные точки поперечника ~~(длина и две точки от каждой)~~, а также на

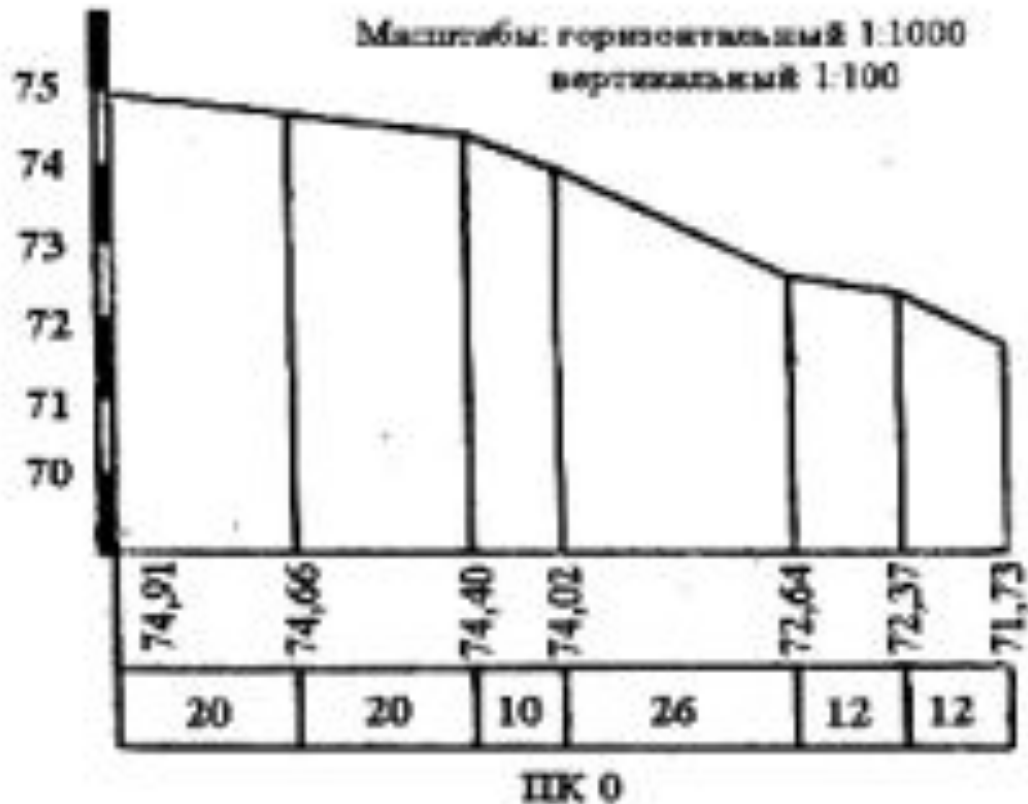
трассе (обычно на задний или передний пикеты или плюсовые точки (рисунки а).

На крутых косогорах нивелирование поперечника с одной станции выполнить невозможно, поэтому поперечник нивелируют с нескольких станций (рисунок б).

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

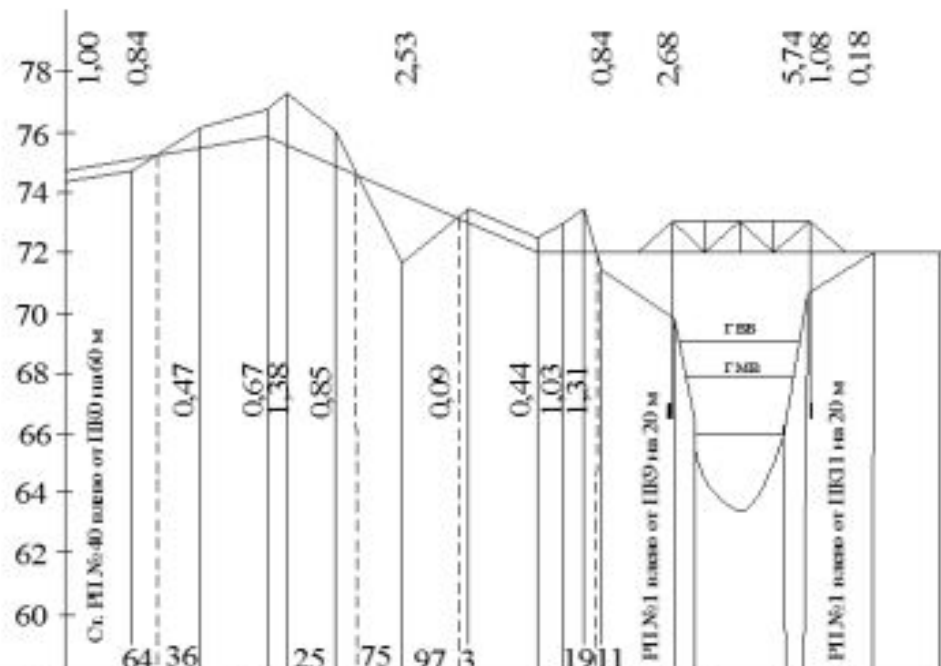


## Поперечный профиль



Поперечные профили составляют на миллиметровой бумаге в масштабах: горизонтальный – 1:1000, вертикальный – 1:100. Горизонтальные расстояния до точек перегиба профиля на поперечнике откладывают вправо и влево от осевой точки трассы, на которой производилась разбивка поперечника. Высоты точек поперечника откладывают по вертикали от принятого условного горизонта в соответствующем масштабе.

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. Проектные данные на профиле показывают красным цветом, точки нулевых работ и расстояния до них – синим, всё остальное оформление делают



Грунты	5	Суглинок										Песок						
Ситуация	20	Пашня										Пашня						
Ординаты	10																	
Проектные отметки	15	75,02	75,41	75,80	76,20	75,84	75,15	74,10	73,05	72,00			72,00					
Уклоны	10	3,9	300		400	10,5			0		500	кр						
Фактические отметки	15	74,02	74,57	76,27	76,87	77,22	76,00	71,57	73,14	72,14	73,03	73,31	71,16	69,32	66,26	66,26	70,92	71,82
Расстояния	10				34	66				40	30	30		26		91	9	
Пикеты		0	1	2	3	4		5	6	7	8	9	10	1	2			
План линии	40	347,41		47,41		52,59		92,30	7,70			707,70		кр				
Километры		22° 52'		V = 22° 52'		R = 600		l = 40		K = 144,89		T = 72,59						

## 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. К плану трассы прилагают “Ведомость углов поворота, прямых и кривых” (таблица 1).

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

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

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

Таблица 1 - Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Углы				Кривые							Прямые		
Точка трассы	Местоположение	Углы поворота		R	T	K	Б	Д	НК	КК	П	ВУП	α
		прав.	лев.										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Н.Т.	ПК0												
ВУП № 1	ПК4+20,00												
ВУП № 2	ПК14+35,0												
КТ	ПК20												
	Итого	Σφ <sub>пр</sub>	Σφ <sub>лев</sub>		ΣТ	ΣК		ΣД			ΣП	ΣВУП	

Внизу таблицы производят контроль всех вычислений по формулам:

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

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

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

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

3) сумма прямых участков трассы (ΣП) плюс сумма кривых участков (ΣК) должна равняться общей длине трассы (L):

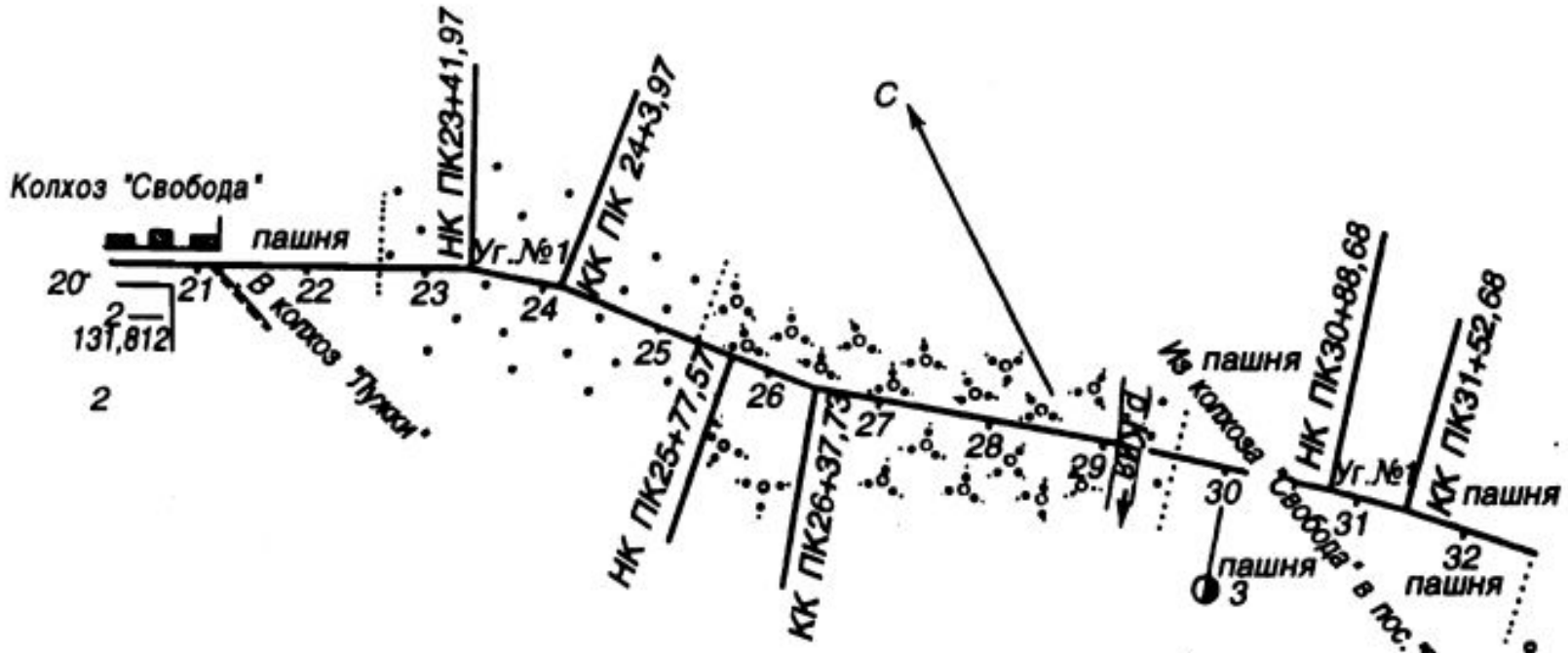
$$\Sigma П + \Sigma К = L;$$

4) сумма расстояний между вершинами углов поворота (ΣВУП) минус сумма домеров должна быть равна общей длине трассы:

$$\Sigma ВУП - \Sigma Д = L.$$

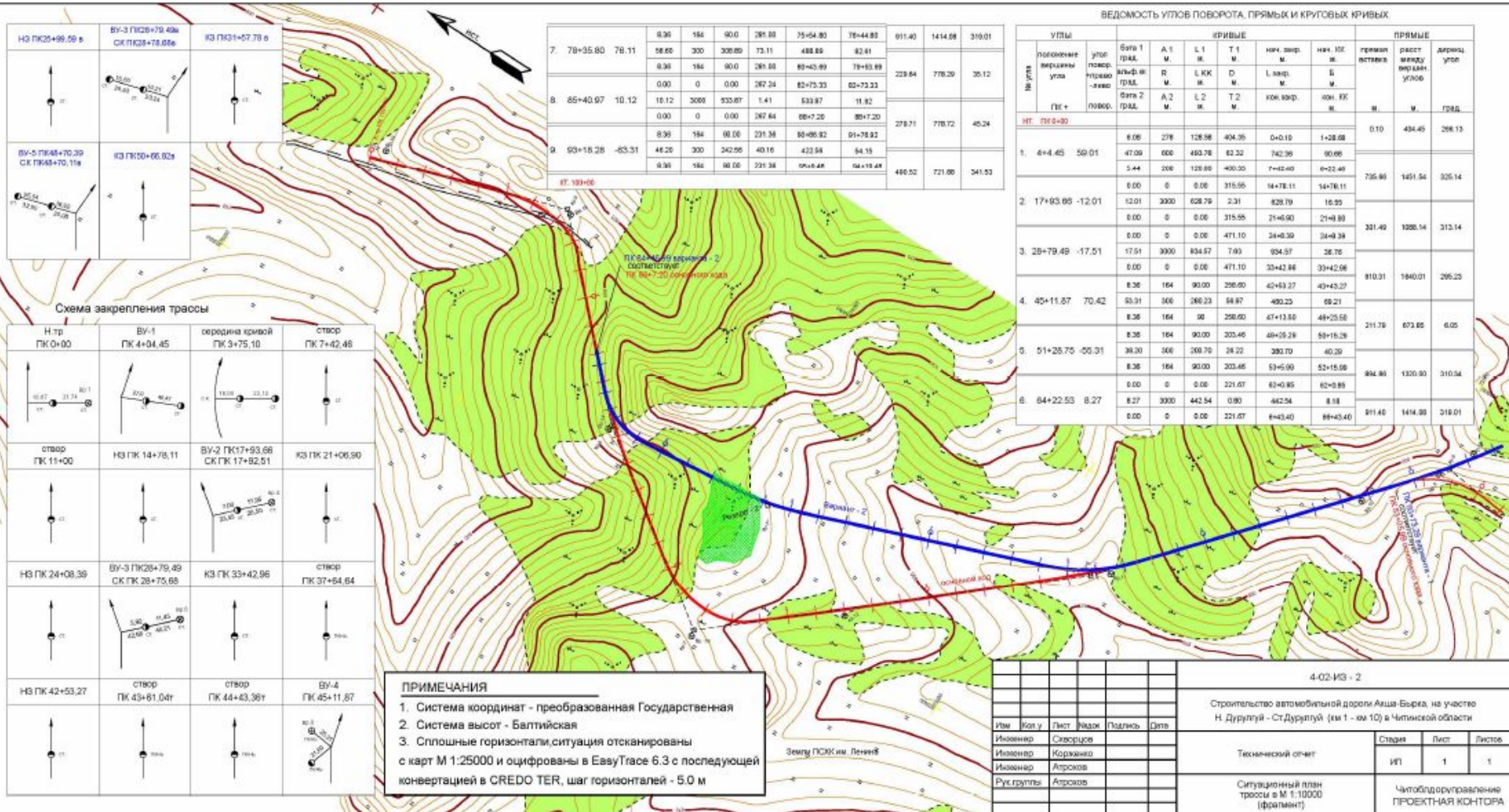


# ПЛАН ТРАССЫ



Точки	Положение вершины угла	Угол		Элементы кривой				Расст. между верши- нами	Прямая встав- ка	Румб исправ- ления
		право	лево	R	T	K	D			
НТ	ПК20+20									
Уг.1	ПК +76,003	6°25'		500	20,05	56,00	0,06	376,00	347,97	ЮВ:64°25'
Уг.2	ПК26+37		13°50'	250	30,33	60,36	0,30	291,76	113,40	ЮВ:58°00'
Уг.3	ПК31+20,79	9 10		400	32,07	64,00	0,14	313,36	480,96	ЮВ:71°50'
КТ	ПК34+00							279,39	247,39	ЮВ:62°40'

# СИТУАЦИОННЫЙ ПЛАН ТРАССЫ



Трассирование может быть выполнено в нескольких вариантах, из которых после построения продольного профиля и проектирования проектной линии выбирают наилучший (оптимальный).

### **Критерии, по которым сравнивают различные варианты:**

1. Длина трассы.
2. Коэффициент удлинения трассы.
3. Число углов поворота.
4. Средняя величина угла поворота.
5. Ориентировочные объемы земляных работ.
6. Протяженность участков местности с уклонами по трассе, превышающими максимально допустимое значение  $i_{пр}$ .
7. Число пересечений с водотоками, дорогами, надземными и подземными коммуникациями.
8. Суммарная протяженность пересекаемых трассой участков: лесов, болот, сельхозугодий, населенных пунктов.

В настоящее время имеются автоматизированные системы проектирования трасс. Эти системы основаны на представлении всей информации о местности в виде цифровой модели, применении ЭВМ большой мощности для расчетов и проектирования вариантов и графопостроителей для автоматического составления проектной документации.