



М.В. Валл

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Екатеринбург
2017

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

М.В. Валл

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсовой работы
«Инженерно-геодезические работы при изысканиях
и проектировании автомобильной дороги»
для обучающихся направления 08.03.01 «Строительство»
всех форм обучения

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 1 от 15 сентября 2016 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент кафедры транспорта и дорожного
строительства А.Ю. Шаров

Редактор Е.Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 22.11.17		Поз. 36
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,86	Цена

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Цель курсовой работы – научить обучающихся самостоятельно выбирать наиболее целесообразное направление трассы автомобильной дороги по топографической карте, ориентировать трассу, определять основные элементы и главные точки закруглений, проводить разбивку пикетов и определять их высоту, строить профиль трассы и проектировать по нему.

При выполнении работы обязательно соблюдение условий и требований, изложенных в специальных нормативных документах [1].

В настоящей работе рассмотрены вопросы проектирования трассы по топографической карте масштаба 1:10000 с соблюдением следующих требований:

- протяженность трассы 2 км;
- количество поворотов не менее двух в противоположные стороны;
- минимальный радиус кривых в плане – 100 м, максимальный – 3000 м;
- минимальная длина прямых вставок между смежными круговыми кривыми – 50 м;
- максимальный проектный уклон трассы – 0,070 (70 тысячных);
- минимальный шаг продольного проектирования – 100 м;
- количество поперечников протяженностью по 25 м в обе стороны от оси трассы – не менее двух;
- минимум земляных работ и возможное равенство объемов работ по выемкам и подсыпкам грунта.

1. ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЯ И ОРИЕНТИРОВАНИЕ ТРАССЫ

На топографической карте намечается точка (НТ) – начало трассы проектируемой автодороги. В нашем примере (рис. 1) НТ расположено на квадрате 68 х 11 с высотной отметкой 146,4 м. От начала трассы наносят ось автодороги протяженностью 2 км.

В учебных целях необходимо наметить не менее двух поворотов: вправо и влево от общего направления трассы. Места расположения вершин улов повороты (ВУП) следует выбирать так, чтобы они разбивали трассу на примерно равные части.

Затем измеряют транспортиром дирекционный угол первого прямолинейного участка трассы (из НТ) – горизонтальный угол от положительного направления оси X по ходу часовой стрелки до заданного направления.

Дирекционный угол первого прямолинейного участка трассы между НТ и ВУП:

$$\alpha_{нач} = 127^{\circ}00'.$$

Углы поворота трассы – горизонтальные углы между продолжением предыдущего направления и следующим направлением – измеряются также транспортиром.

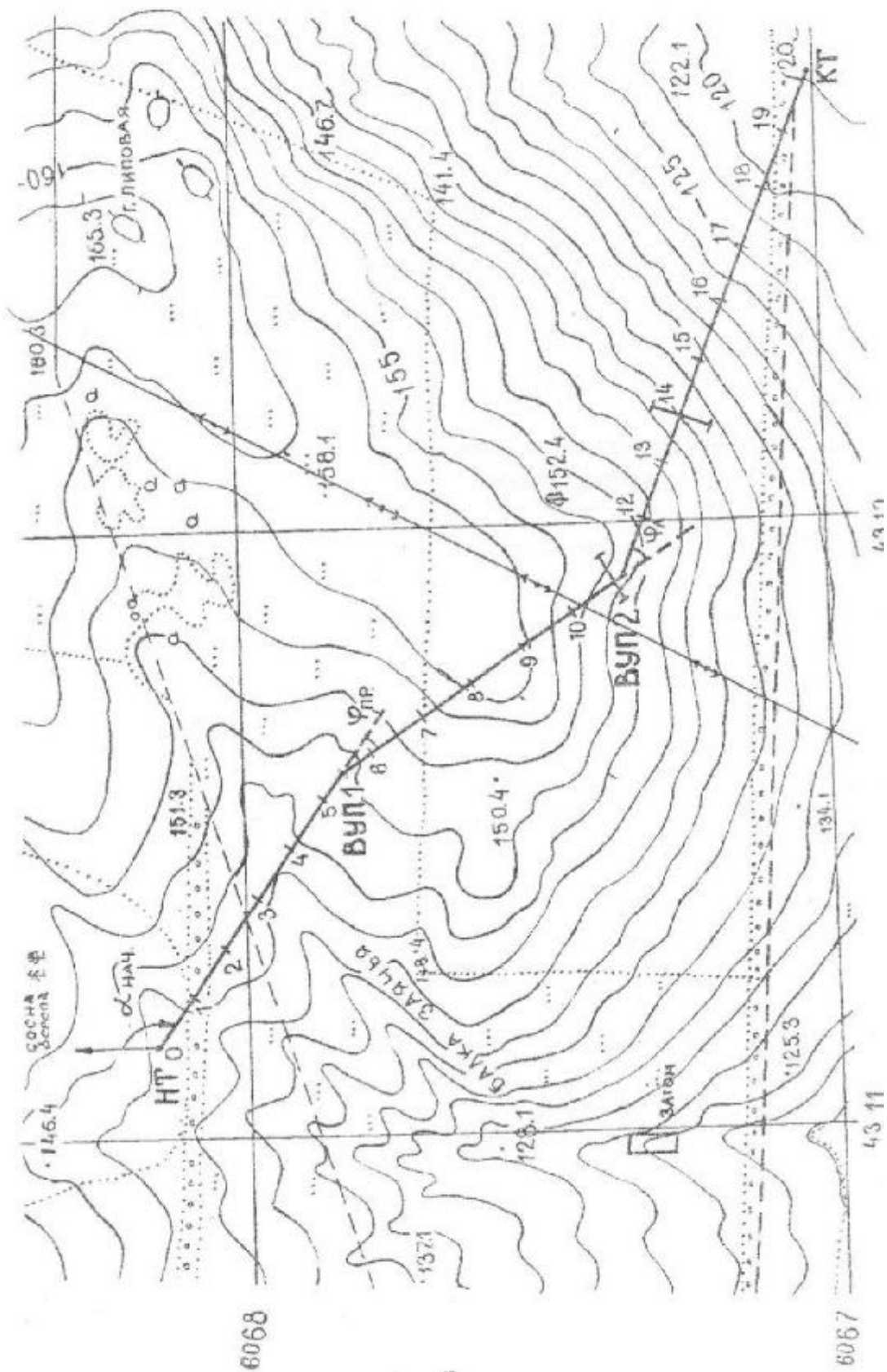


Рис. 1. План трассы

Первый угол поворота φ_1 правый = $20^\circ 45'$.

Второй угол поворота φ_2 левый = $37^\circ 00'$.

Дирекционные углы α_i последующих прямолинейных участков трассы вычисляются с использованием дирекционных углов предыдущих участков α_{i-1} и углов поворота трассы по формулам

$$\begin{aligned}\alpha_i &= \alpha_{i-1} + \varphi_{\text{правый}}, \\ \alpha_i &= \alpha_{i-1} - \varphi_{\text{левый}}.\end{aligned}\quad (1)$$

Дирекционные углы последующих направлений равны: дирекционный угол α_2 линии ВУ1 – ВУ2:

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \varphi_{1\text{прав}} = 127^\circ 00' + 20^\circ 45' = 147^\circ 45',$$

дирекционный угол а кон линии ВУ2 – КТ (конечный):

$$\alpha_{\text{кон}} = \alpha_2 - \varphi_{2\text{лев}} = 147^\circ 45' - 37^\circ 00' = 110^\circ 45'.$$

Контроль правильности вычислений дирекционных углов всех прямолинейных участков трассы осуществляется по формуле

$$\alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}} = \sum \varphi_{\text{прав}} - \sum \varphi_{\text{лев}}, \quad (2)$$

$$110^\circ 40' - 127^\circ 00' = 20^\circ 45' - 37^\circ 00' = -16^\circ 15'.$$

По дирекционным углам всех прямолинейных участков трассы вычисляются их румбы. Румб r – это горизонтальный острый угол, отсчитываемый от ближайшего направления оси X до заданного направления (табл. 1).

Таблица 1

Связь между дирекционными углами и румбами направлений

Четверть		Дирекционный угол α , град	Румб r , град
Номер	Название		
1	СВ	$0 - 90^\circ$	$r = \alpha$
2	ЮВ	$90 - 180^\circ$	$r = 180^\circ - \alpha$
3	ЮЗ	$180 - 270^\circ$	$r = \alpha - 180^\circ$
4	СЗ	$270 - 360^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$

В нашем примере:

$$\alpha_{\text{нач}} = 127^\circ 00' \text{ (2 четверть);}$$

$$r_{\text{нач}} = 180^\circ - \alpha_{\text{нач}} = 180^\circ 00' - 127^\circ 00' = 53^\circ 00' \text{ (ЮВ);}$$

$$\alpha_2 = 147^\circ 45' \text{ (2 четверть);}$$

$$r_2 = 180^\circ 00' - 147^\circ 45' = 32^\circ 15' \text{ (ЮВ);}$$

$$\alpha_{\text{кон}} = 110^\circ 45' \text{ (2 четверть);}$$

$$r_{\text{кон}} = 180^\circ 00' - 110^\circ 45' = 69^\circ 15' \text{ (ЮВ).}$$

Значения измеренных и вычисленных углов записываются в ведомость прямых и кривых (табл. 2).

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Таблица 2

Углы поворота (УП), φ			Основные элементы кривых, м						НК, м		КК, м		Длина прямых Р, м	Рас- сто- яния между ВУ S, м	Дирек- цион- ные углы', град	Румбы г, град	
№ УП	Верш. УП		φ лев, град	φ прав, град	R	T	K	Б	Д	ПК	+	ПК					+
	ПК	+															
НТ	0	0															
				20°45'	400	73,23	144,86	6,65	1,60	4	66,77	6	11,60	466,77	540,00	127°00'	ЮВ:53°00'
УП1	5	40															
					100	33,46	64,58	5,45	2,34	10	86,54	11	51,10	474,91	581,60	147°45'	ЮВ:32°15'
УП2	11	20	37°00'														
КТ	20	0												848,88	882,34	110°45'	ЮВ:69°15'
Сумма:			37°00'	20°45'		106,7	209,44		3,94					1790,56	2003,94		

Линейный контроль:

$$\sum 2T - \sum K = \sum D = 213,38 - 209,44 = 3,94 ;$$

$$KT = \sum P + \sum K = 1790,56 + 209,44 = 2000,00 ;$$

$$KT = \sum S - \sum D = 2003,94 - 3,94 = 2000,00 .$$

Угловой контроль:

$$\alpha_k - \alpha_n = \sum \varphi_{\text{прав}} - \sum \varphi_{\text{лев}} =$$

$$= 110^\circ 45' - 127^\circ 00' =$$

$$= 20^\circ 45' - 37^\circ 00' = -16^\circ 45'$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУГОВЫХ КРИВЫХ

Курсовая работа предусматривает выполнения закруглений на поворотах трассы по горизонтальным круговым кривым (КК), т.е. по кривым постоянных радиусов R .

Основными элементами круговых кривых (рис. 2) являются:

T – тангенс, расстояние от вершины угла (ВУ) поворота до начала (НKK) или конца (ККК) круговой кривой, м;

K – кривая, длина круговой от НKK до ККК, м;

B – биссектриса, расстояние от ВУ до точки «середина круговой кривой» (СКК) по биссектрисе горизонтального угла между смежными прямыми участками трассы, м;

D – домер, величина, показывающая, на сколько длина двух тангенсов ($2T$) больше длины кривой (K), м.

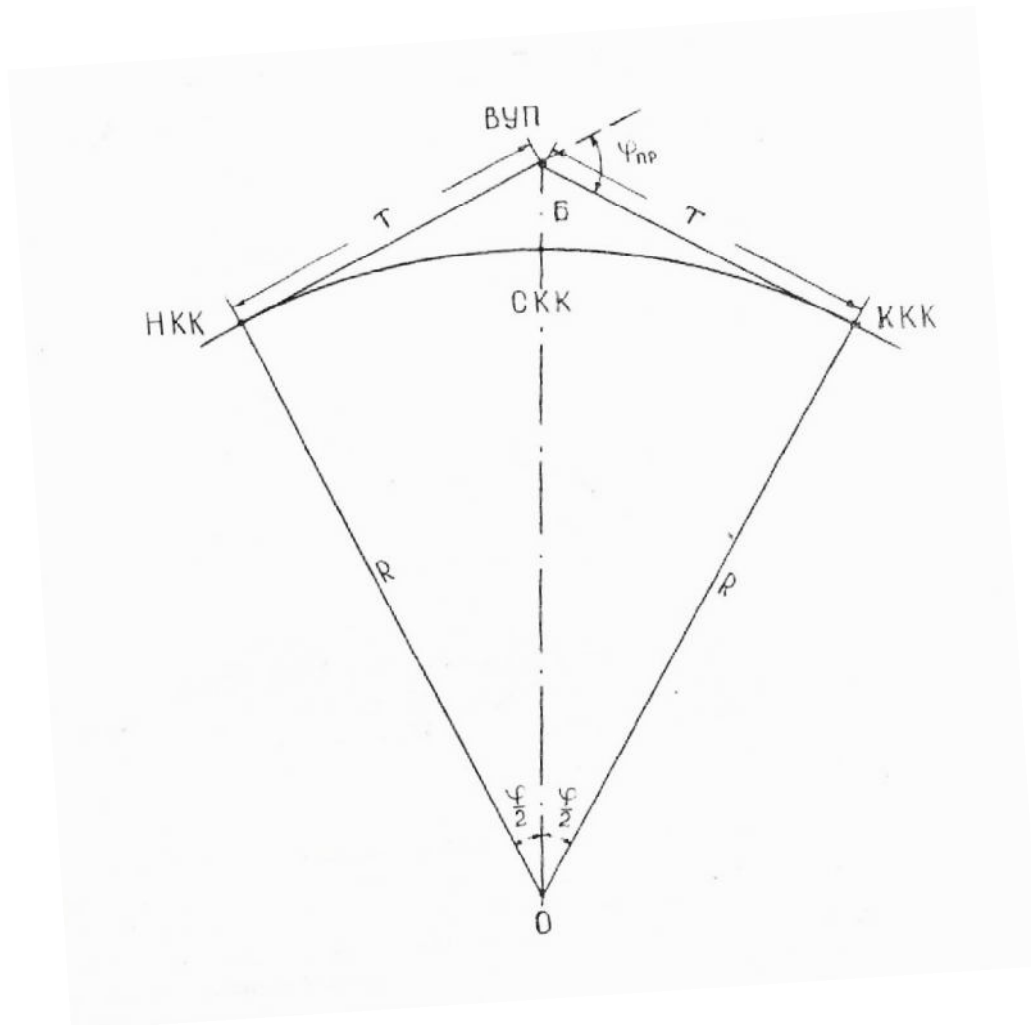


Рис. 2. Основные элементы и главные точки круговой кривой

Размеры основных элементов круговой кривой зависят от величины радиуса R круговой кривой и угла поворота φ .

В нашем примере для первого закругления с углом поворота $20^{\circ}45'$ выбран радиус 400 м, а для второго закругления с углом поворота 37° – радиус 100 м.

Основные элементы круговой кривой определяются по таблицам [2] или рассчитываются по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (3)$$

$$K = \pi R \frac{\varphi}{180^{\circ}}, \quad (4)$$

$$B = R(\sec \varphi/2 - 1), \quad (5)$$

$$D = 2T - K. \quad (6)$$

Правильность определения указанных элементов проверяют по формуле (6).

В нашем примере основные элементы круговых кривых имеют следующие значения:

Первое закругление	Второе закругление
$\varphi_{\text{пр}} = 20^{\circ}45'$; $R = 400$ м;	$\varphi_{\text{лев}} = 37^{\circ}00'$; $R = 100$ м;
$T = 73,23$ м;	$T = 33,46$ м;
$K = 144,86$ м;	$K = 64,58$ м;
$B = 6,65$ м;	$B = 5,45$ м;
$D = 1,60$ м.	$D = 2,34$ м.
Контроль:	Контроль:
$2T - K = D$;	$2T - K = D$;
$146,6 - 144,86 = 1,60$ м.	$66,92 - 64,58 = 2,34$.

Все вычисления выполняются с точностью $\pm 0,01$ м.

3. РАЗБИВКА ПИКЕТОВ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИКЕТАЖНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ТОЧЕК, ДЛИН ПРЯМЫХ ВСТАВОК И РАСТОЯНИЙ МЕЖДУ ВЕРШИНАМИ УГЛОВ ПОВОРОТА

Разбивка пикетов заключается в измерении протяженности всей трассы с разбивкой ее на участки по 100 м в горизонтальном положении. Начальную и конечную точки каждого стометрового участка называют пикетами (ПК). При разбивке пикетов начальную точку трассы (НТ) обозначают ПК 0, от нее вдоль трассы отмеряют 100 м и конец первого стометрового участка обозначают ПК 1, конец второго участка – ПК 2 и т.д.

При такой нумерации номер ПК соответствует числу сотен метров от начала трассы до данного пикета.

При разбивке пикетов также отмечают точками характерные места трассы, несовпадающие с пикетами: перегибы поверхности земли, места расположения поперечников и вершин углов поворота, начало и конец закруглений и т.п. В этих точках, называемых плюсовыми, пишут номер предыдущего пикета и расстояние от него до плюсовой точки (ПК 5+40). Таким образом устанавливают пикетажное положение всех плюсовых точек, вершин углов поворотов и главных точек кривых.

Разбивка пикетов ведется по створу прямолинейных участков трассы поэтапно: от НТ до ВУП1, от ВУП1 до ВУП2 и т.д.

Так как длина двух тангенсов больше длины кривой на величину диаметра, то правильное пикетажное положение любой точки трассы на прямолинейных участках за вершинами углов поворота можно получить только при вычитании из пикетажного значения вершины угла поворота. Практически величина домера откладывается за вершиной угла поворота в створе следующего прямолинейного участка трассы. Дальнейшая разбивка пикетов от конца домерного отрезка до вершины следующего угла поворота выполняется обычными измерениями.

За вершиной следующего угла поворота откладывается величина соответствующего ему домера, а от конца домерного отрезка до вершины следующего угла поворота разбивка пикетов выполняется обычно и т.д.

При разбивке пикетов на трассе по карте у точки НТ на карте подписывают ПК0, накладывают линейку нулем в эту точку, направляют ее по линии на ВУП1 и делают на карте метки через 1 см (в масштабе 1:10000, в 1 см содержится 100 м), подписывая их последовательно ПК1, ПК2 и т.д. до ВУП1 = ПК5 + 40 м.

Далее от ВУП1 по линии на ВУП2 откладывают величину $D_2 = 1,60$ м (0,16 мм – этой величиной графически можно пренебречь, но в расчётах использовать обязательно), от конца домерного отрезка откладывают 60 м (6 мм), недостающие до полного пикетного расстояния, и подписывают ПК6, так как $(ПК5 + 40) + 60 = ПК6$. Передвигают нуль линейки в т. ПК6 и от нее по линии ВУП1 – ВУП2 делают на карте метки через 1 см, подписывая их последовательно ПК7, ПК8 и т.д. вплоть до ВУП2 = ПК11 + 20 м.

От ВУП2 по линии на КТ откладывают величину домера $D_2 = 2,34$ м (0,23 мм – графически пренебрегают), откладывают недостающие до полного пикетного расстояния 80 м (8 мм) и подписывают ПК12, так как $(ПК11 + 20) + 80 = ПК12$, передвигают нуль линейки в т. ПК12 и от нее по линии на КТ через 1 см делают на карте метки, подписывая их последовательно ПК13, ПК14 и т.д. до конечного ПК20 (КТ).

Далее выполняется расчёт пикетажного положения главных точек круговых кривых на каждом повороте с использованием основных элементов круговых кривых:

$$\text{НКК} = \text{ВУП} - \text{T} \quad (7)$$

$$\text{ККК} = \text{НКК} + \text{K} \quad (8)$$

$$\text{СК} = \text{НК} + \text{K}/2 \quad (9)$$

$$\text{Контроль: ККК} = \text{ВУП} + \text{T} - \text{Д} \quad (10)$$

$$\text{СК} = \text{КК} - \text{K}/2 \quad (11)$$

$$\text{ВУП}_1 = \text{ПК}_5 + 40,00$$

$$- \text{T}_1 = -73,23$$

$$\text{НКК}_0 = \text{ПК}_4 + 66,77$$

$$+ \text{K}_1 = 1 + 44,86$$

$$\text{ККК}_1 = \text{ПК}_6 + 11,63$$

$$\text{ВУП}_2 = \text{ПК}_{11} + 20,00$$

$$- \text{T}_2 = -33,46$$

$$\text{НКК}_2 = \text{ПК}_{10} + 86,54$$

$$+ \text{K}_2 = +64,58$$

$$\text{ККК}_2 = \text{ПК}_{11} + 51,1 \quad (12)$$

Контроль:

$$\text{ВУП}_1 = \text{ПК}_5 + 40,00$$

$$+ \text{T}_1 = +73,23$$

$$\text{ПК}_6 + 13,23$$

$$- \text{Д}_1 = -1,60$$

$$\text{ККК}_1 = \text{ПК}_6 + 11,63$$

Контроль:

$$\text{ВУП}_2 = \text{ПК}_{11} + 20,00$$

$$+ \text{T}_2 = +33,46$$

$$\text{ПК}_{11} + 53,46$$

$$- \text{Д}_2 = -2,34$$

$$\text{ККК}_2 = \text{ПК}_{11} + 51,12 \quad (12)$$

$$\text{НКК}_1 = \text{ПК}_4 + 66,77$$

$$+ \text{K}/2 = +72,43$$

$$\text{СКК}_1 = \text{ПК}_5 + 39,20$$

$$\text{НКК}_2 = \text{ПК}_{10} + 86,54$$

$$+ \text{K}/2 = +32,29$$

$$\text{СКК}_2 = \text{ПК}_{11} + 18,83$$

Контроль:

$$\text{ККК}_1 = \text{ПК}_6 + 11,63$$

$$- \text{K}/2 = -72,43$$

$$\text{СКК}_1 = \text{ПК}_5 + 39,20$$

Контроль:

$$\text{ККК}_2 = \text{ПК}_{11} + 51,12$$

$$- \text{K}/2 = -32,29$$

$$\text{СКК}_2 = \text{ПК}_{11} + 18,83$$

По результатам расчетов главные точки кривых находят и закрепляют на трассе (рис. 3, а, б).

Точки НКК и ККК находят, отложив от ВУП величины соответствующих тангенсов, либо непосредственно отмечают их пикетажные положения, используя близлежащие пикеты. Например, $\text{НКК}_1 = \text{ПК}_4 + 66,77$ м, можно найти, если:

- а) отложить от ВУП1 в направлении НТ величину $T_1=73,23$ м;
 б) от ПК4 отложить в обратном направлении в сторону ВУП1 отрезок 66,77 м.

Середину кривой СКК находят, разделив при помощи угломерного прибора угол НКК – ВУП = ККК пополам и отложив на его биссектрисе от вершины угла поворота величину соответствующей биссектрисы Б.

Для контроля вычислений длины трассе используют формулы

$$КТ = L_{тр} = \sum P + \sum K$$

или

$$КТ = L_{тр} = \sum S - \sum D,$$

где $L_{тр}$ – длина трассы, равная 2000 м;

$\sum P$ – сумма прямых вставок между смежными закруглениями, м;

$\sum K$ – сумма кривых всех закруглений, м;

$\sum S$ – сумма расстояний между вершинами углов поворота трассы, м;

$\sum D$ – сумма домеров закруглений, м;

Прямые вставки P вычисляют по следующим выражениям:

$$P_1 = ВУП1 - T_1 = НК_1 = 540,00 - 73,23 = 466,77 \text{ м}$$

$$P_2 = НКК_2 - ККК_1 = 1086,54 - 611,63 = 474,91 \text{ м}$$

$$P_3 = КТ - ККК_2 = 2000,00 - 1151,12 = 848,88 \text{ м}$$

$$\frac{\sum P}{} \quad 1790,56 \text{ м}$$

$$КТ = L_{тр} = 1790,56 + 209,44 = 2000,00 \text{ м.}$$

Расстояние S между вершинами углов поворота равны:

$$S_1 = P_1 + T_1 = 466,77 + 73,23 = 540,00 \text{ м};$$

$$S_2 = T_1 + P_2 + T_2 = 73,23 + 474,91 + 33,46 = 581,60 \text{ м};$$

$$S_3 = T_2 + P_3 = 33,46 + 848,88 = 882,34 \text{ м}$$

$$\frac{\sum S}{} = \quad 2003,94 \text{ м}$$

$$КТ = L_{тр} = 2003,94 - 3,94 = 2000,00 \text{ м.}$$

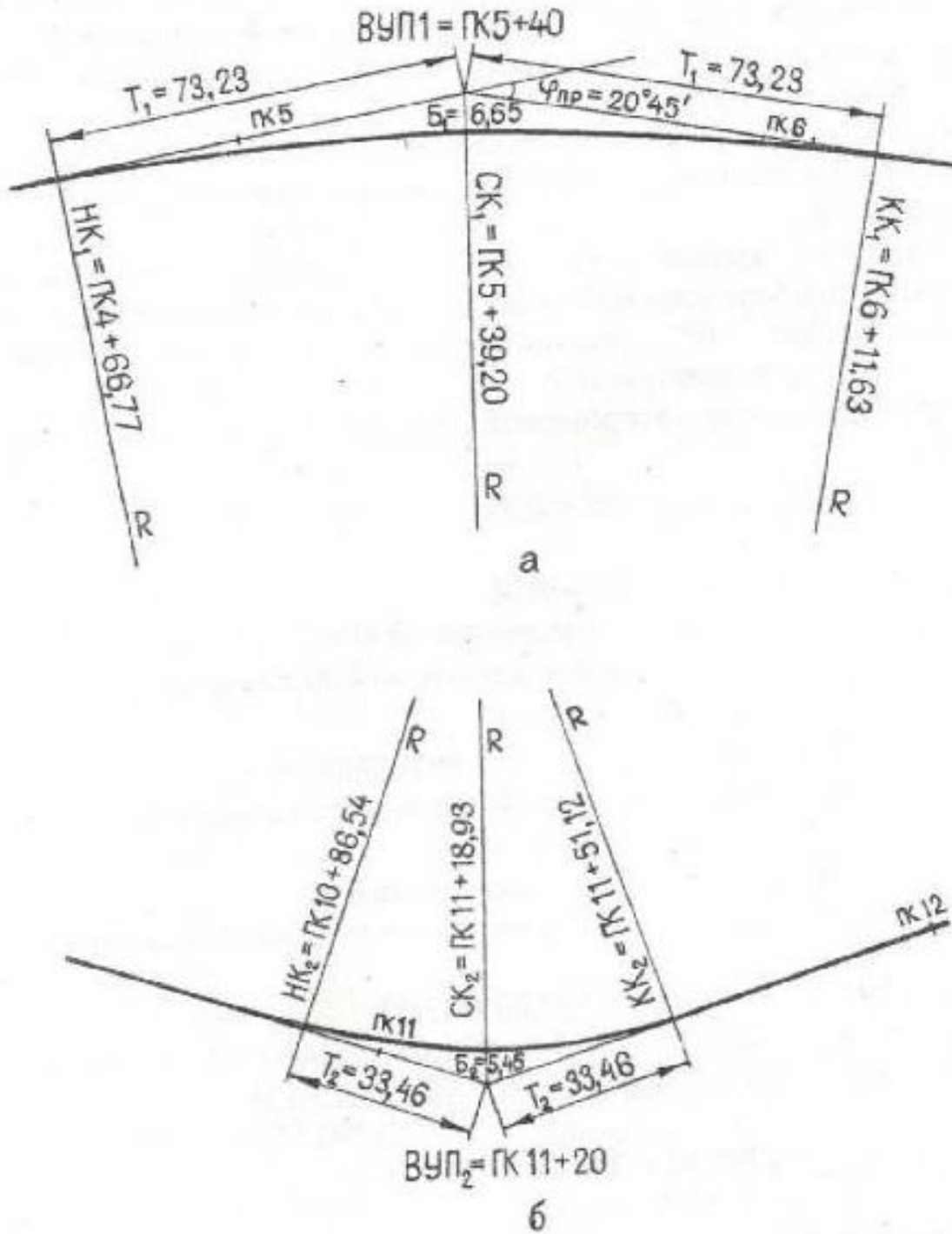


Рис. 3. Пикетажное положение главных точек круговых кривых:
 а – первое закругление;
 б – второе закругление

4. ВЫНОС ПИКЕТОВ НА КРИВУЮ. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРИВОЙ

Перед нивелированием трассы или перед определением высот точек трассы по карте все пикеты, оказавшиеся при их разбивке на тангенсах, переносят на круговую кривую. Вынос пикетов на кривую обычно выполняется способом прямоугольных тангенсов координат. За ось X системы координат принимается направление тангенсов, за ось Y – направление радиусов закруглений, начало координат – в точках НКК и ККК (рис. 4).

До пикета, который необходимо вынести на кривую, определяют расстояние от НКК или от ККК по кривой в зависимости от того, где находится пикет – перед ВУП или за ним. Для кривой такой длины (“ k ”) вычисляют соответствующий ей центральный угол γ :

$$\frac{\gamma}{k} = \frac{360^\circ}{2\pi R} = \frac{\varphi}{K}; \quad \gamma = \frac{k}{R} \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{k}{K} \varphi, \quad (13)$$

где k – длина кривой от НКК до выносимого пикета, м;

K – длина всей круговой кривой от НКК до ККК, м;

φ – угол поворота закругления, м;

R – радиус закругления, м.

Затем по формулам

$$x = R \sin \gamma; \quad y = R(1 - \cos \gamma) \quad (14)$$

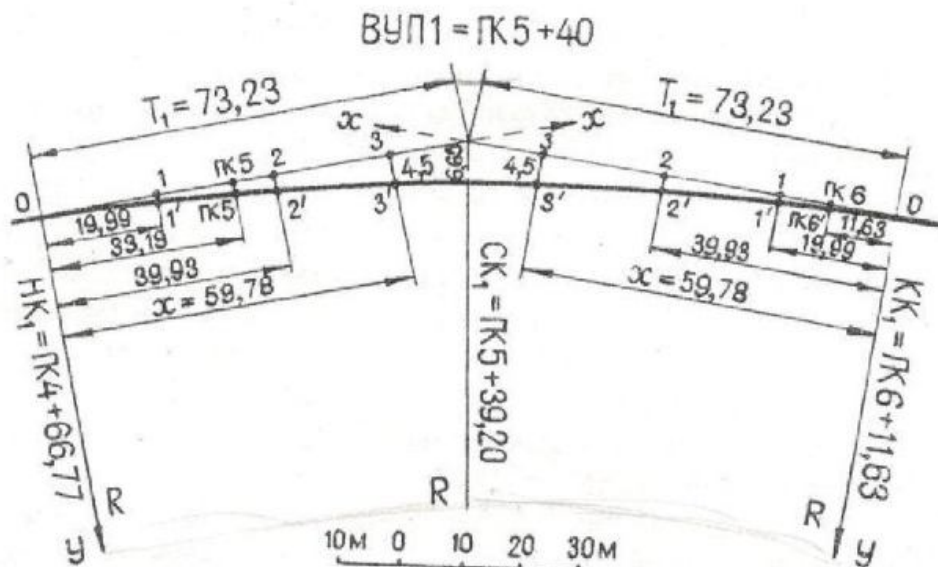
вычисляют прямоугольные координаты пикета для выноса его на кривую.

На местности по этим координатам от НКК или ККК на тангенсах откладывают абсциссы X , перпендикулярно к ним – ординаты Y .

Детальная разбивка кривой заключается в определении координат и в закреплении по ним ряда точек, расположенных на равных небольших расстояниях друг от друга на закруглениях. Чем больше радиус закругления, тем больше эти отрезки кривой (2; 5; 10; 20 м). Основная цель разбивки – детально обозначить закругление на местности. Разбивку обычно ведут от НКК и от ККК до ее середины.

Расчеты по детальной разбивке кривой выполняются по тем же формулам и по той же методике, что и вынос пикетов на кривую. Поэтому их обычно совмещают, а результаты представляют в единой ведомости.

а



б

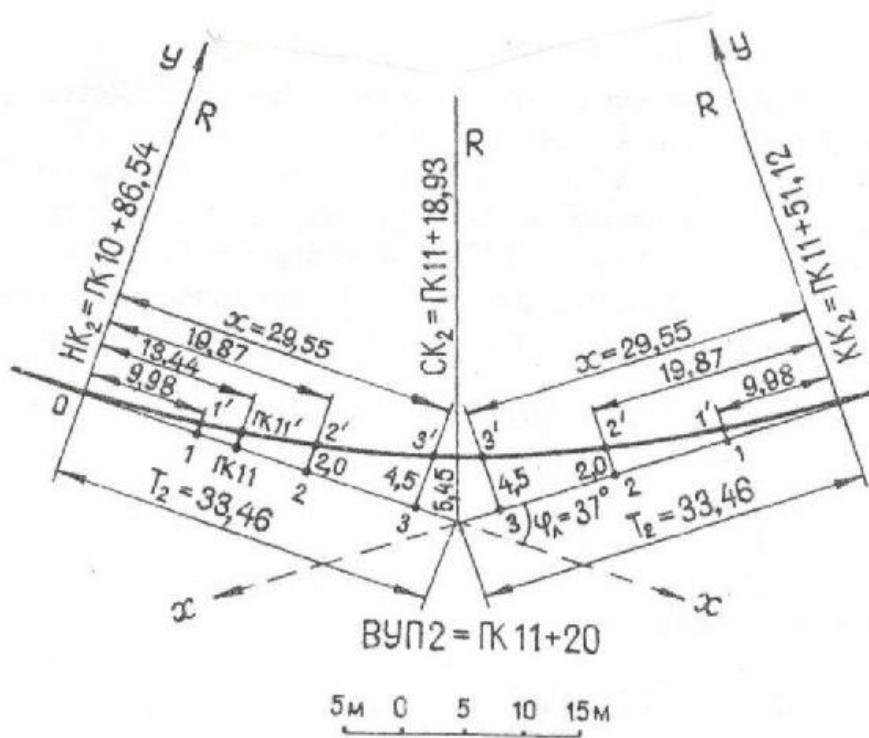


Рис. 4. Детальная разбивка круговой кривой и вынос пикетов на кривую:
 а – первое закругление;
 б – второе закругление

В нашем примере на первом закруглении необходимо вынести на кривую ПК5 и ПК6 (см. рис. 4) и детально разбить кривую на отрезки по 20 м, так как длина кривой сравнительно большая (≈ 145 м).

На втором закруглении предстоит вынести на кривую ПК11 и детально разбить кривую на отрезки по 10 м, так как ее длина небольшая (≈ 65 м).

Итак, начало первого закругления, как начало координат, находится в точке $НКК_1 = ПК4 + 66,77$ м (табл. 3).

Пикетажное положение конца первого отрезка длиной $K_1 = 20$ м для детальной разбивки кривой будет равно:

$$\begin{array}{r} НКК_1 = ПК4 + 66,77 \\ + \kappa_1 \quad \quad \quad + 20,00 \\ \hline т.1 = ПК4 + 86,77 \end{array}$$

Конец второго отрезка будет находиться от $НКК_1$ в 40 м. Но обращаем внимание на то, что в диапазоне $K_1 = 20$ м и $K_2 = 40$ м располагается ПК5, так как расстояние от $НКК_1$ до ПК5 составляет 33,23 м, что меньше 40 м. Поэтому, соблюдая последовательное нарастание расстояний от НКК до точек детальной разбивки кривой и выносимых пикетов, решают в первую очередь задачу о выносе ПК5 на кривую, определив расстояние от $НКК_1$ до него:

$$\begin{array}{r} ПК5 = ПК5 + 00,00 \\ - НКК_1 = ПК4 + 66,77 \\ \hline к ПК5 = \quad \quad 33,23 \end{array}$$

Теперь определяют пикетажное положение т. 2 детальной разбивки кривой:

$$\begin{array}{r} НКК_1 = ПК4 + 66,77 \\ + \kappa_2 \quad \quad \quad + 40,00 \\ \hline т. 2 = ПК5 + 06,77 \end{array}$$

Точка 3 детальной разбивки кривой будет находиться в 60 м от $НКК_2$. Следовательно, ее пикетажное положение определится:

$$\begin{array}{r} НКК_1 = ПК4 + 66,77 \\ + \kappa_3 \quad \quad \quad + 66,00 \\ \hline т.3 = ПК5 + 26,77 \end{array}$$

Следующая точка 4 детальной разбивки кривой находится в 80 м от $НКК_1$. Но до т. СКК₁ всего 72,43 м = $K/2$, т.е. меньше 80 м. Поэтому выполняют расчеты для т. СКК₁:

$$\begin{array}{r} \text{НКК}_1 = \text{ПК4} + 66,77 \\ + K/2 \quad \quad + 72,43 \\ \hline \text{СКК}_1 = \text{ПК5} + 33,20 \end{array}$$

Вторую половину кривой разбивают от ККК_1 до СКК_1 в обратном направлении (табл. 4). Длины отрезков кривой для детальной ее разбивки – те же 20 м. Но в 11,63 м от ККК_1 находится ПК6 . Поэтому прежде выполняют расчеты для выноса ПК6 на кривую:

$$\begin{array}{r} \text{ККК}_1 = \text{ПК6} + 11,63 \\ - \text{ПК6} = \text{ПК6} + 00,00 \\ \hline \text{к ПК6} = \quad \quad 11,63 \end{array}$$

Затем последовательно определяют пикетажное положение всех точек детальной разбивки кривой через 20 м от ККК_1 до СКК_1 :

$$\begin{array}{r} \text{ККК}_1 = \text{ПК6} + 11,63 \\ \kappa_1 = \quad \quad - 20,00 \\ \hline \text{т.1} = \text{ПК5} + 91,63 \\ \text{ККК}_1 = \text{ПК6} + 11,63 \\ \kappa_2 = \quad \quad - 40,00 \\ \hline \text{т.2} = \text{ПК5} + 71,63 \\ \text{ККК}_1 = \text{ПК6} + 11,63 \\ \kappa_3 = \quad \quad - 60,00 \\ \hline \text{т.3} = \text{ПК5} + 51,63 \end{array}$$

Последней точкой по нарастанию расстояний от ККК_1 будет СКК_1 :

$$\begin{array}{r} \text{ККК}_1 = \text{ПК6} + 11,63 \\ - K/2 = \quad \quad - 72,43 \\ \hline \text{СКК}_1 = \text{ПК5} + 39,20 \end{array}$$

Следующий этап детальной разбивки кривой и выноса пикетов на кривую заключается в вычислении прямоугольных координат X и Y этих точек трассы по формулам (14) или в их выборе из табл. 1.3 [2] по длине дуги “ κ ” от НКК или ККК до данной точки и радиусу кривой. Так, для т. 1 первой кривой, имеющей радиус 400 м, в столбце κ [3, с. 260] находим строку $K1 = 20$ и из этой строки справа выписываем: $X1 = 19,99$, $Y1 = 0,50$ и т.д. (см. табл. 3, 4).

Таблица 3

Ведомость выноса пикетов на кривую и детальной разбивки первой кривой

Номера точек	Расстояние по кривой κ , м	Местоположение		X	Y	$\kappa - X$
		ПК	+			
НК ₁	0	4	66,77	0	0	0
1	20	4	86,77	19,99	0,50	0,01
ПК 5	33,23	5	00,00	33,19	1,38	0,04
2	40	5	06,00	39,93	2,00	0,07
3	60	5	26,77	59,78	4,49	0,22
СК ₁	72,43	5	39,20	72,04	6,53	0,39
КК ₁	0	6	11,63	0	0	0
ПК 6	11,63	6	00,00	11,63	0,17	0
1	20	5	91,63	19,99	0,50	0,01
2	40	5	71,63	39,93	2,00	0,07
3	60	5	51,63	59,78	4,49	0,22
СК ₁	72,43	5	39,20	72,04	6,53	0,39

Таблица 4

Ведомость выноса пикетов на кривую и детальной разбивки второй кривой

Номера точек	Расстояние по кривой κ , м	Местоположение		X	Y	$\kappa - X$
		ПК	+			
НК ₂	0	10	86,54	0	0	0
1	10	10	96,54	9,98	0,50	0,02
ПК 11	13,46	11	00,00	13,44	0,91	0,02
2	20	11	06,54	19,87	1,99	0,13
3	30	11	16,54	29,55	4,47	0,45
СК ₂	32,29	11	18,83	31,76	5,18	0,53
КК ₂	0	11	51,12	0	0	0
1	10	11	41,12	9,98	0,50	0,02
2	20	11	21,12	19,87	1,99	0,13
3	30	11	11,12	29,55	4,47	0,45
СК ₂	32,29	11	18,83	31,56	5,18	0,53

Величина $(\kappa - X)$, называемая “кривая без абсциссы”, вычисляется и используется для упрощения измерительных работ при закреплении точек на местности. Например, для закрепления на первом закруглении т. 3 вместо откладывания от НКК₁ по тангенсу абсциссы $X_3 = 59,78$ м можно отложить в обратном направлении от конца отрезка $\kappa = 60$ м всего 0,22 м и т.д.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК ТРАССЫ ПО КАРТЕ

Высота каждого пикета снимается с карты именно в той точке, где расположен соответствующий пикет на трассе.

За плюсовые точки условно приняты точки пересечения трассы с горизонталями. Поэтому высотами плюсовых точек будут являться высоты соответствующих горизонталей, которые также фиксируются в ведомости высот (табл. 5).

Перед определением высот точек определяют высоту сечения рельефа на карте, т.е. находят, сколько метров по высоте между соседними горизонталями. Для этого на карте находят две подписанные горизонтали и считают количество интервалов между ними. Например, на четыре интервала между подписанными горизонталями приходится $130 \text{ м} - 120 \text{ м} = 10 \text{ м}$ по высоте (рис. 5). Следовательно, высота сечения рельефа на карте равна

$$h = \frac{130 - 120}{4} = 2,5 \text{ м.}$$

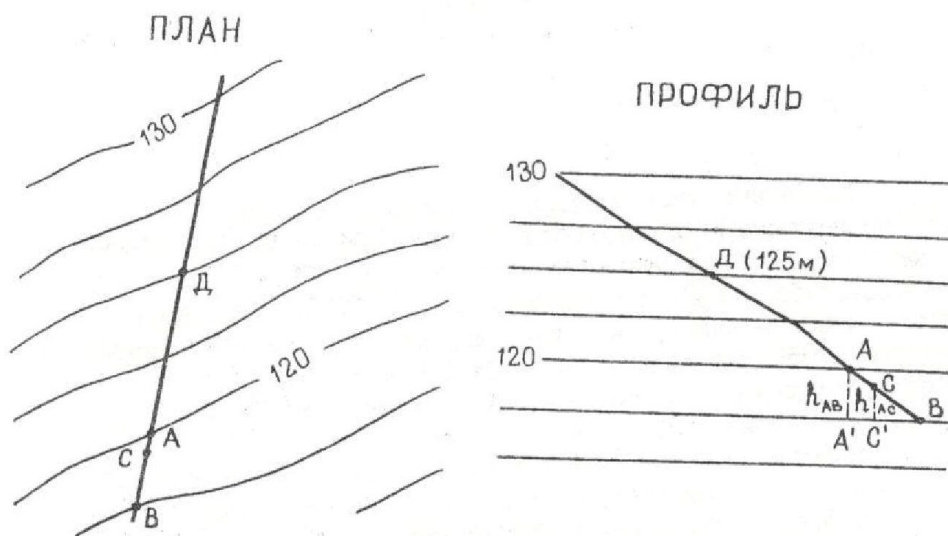


Рис. 5. Определение высоты сечения рельефа

Подписанные на картах высоты отдельных горизонталей и точек в совокупности с бергштрихами позволяют быстро и правильно представить рельеф местности и по горизонталям определить высоты любых точек. При определении высоты точек по карте возможны следующие случаи.

Случай 1. Точка “Д” находится на горизонтали (см. рис. 5). До иско-мой точки от подписанных горизонталей 130 и 120 по два интервала, бергштрихи направлены вниз. Следовательно,

$$H_{\text{Д}} = 130 - (2,5 + 2,5) = 125 \text{ м}$$

или

$$H_{\text{Д}} = 120 + (2,5 + 2,5) = 125 \text{ м.}$$

Таблица 5

Ведомость высот пикетов и плюсовых точек на трассе

ПК	+	Н, м	ПК	+	Н, м	
ПК 0	00	145,6	ПК 16	00	125,4	
	+20	145,0		+30	127,5	
	+70	145,0		+80	125,0	
ПК 1	00	145,6	ПК 17	00	124,5	
ПК 2	00	146,8		+50	122,5	
ПК 3	00	145,6	ПК 18	00	120,8	
	+50	145,0		+20	120,0	
ПК 4	00	147,5	ПК 19	00	119,0	
ПК 5	00	149,0	ПК 20	00	117,5	
	+60	150,0				
ПК 6	00	151,1				
	+40	152,2				
ПК 7	00	154,2	Поперечник №1			
	+30	155,0				
ПК 8	00	157,5	ПК 11			
ПК 9	00	158,4				
	+10	157,5				
ПК 10	+60	155,0		00	150,6	
	00	153,8		Л35	152,2	
ПК 11	+20	152,5		Л5С	153,0	
	00	150,6		П10	150,0	
ПК 12	+20	150,0		П45	147,5	
	00	148,8		П50	147,1	
ПК 13	+30	147,5				
	+90	145,0				
ПК 14	00	144,4	Поперечник №2			
	+40	142,5				
ПК 14	+85	140,0	ПК 14	00	139,4	
	00	139,4				
ПК 15	+35	137,5		Л25	140,0	
	00	135,0		Л50	140,9	
	+50	132,5		П50	137,5	
	+90	130,0				

Случай 2. Точка “С” расположена между горизонталями. Находят высоту сечения рельефа (см. выше), направление ската (по бергштрихам), высоты соседних горизонталей H_A и H_B , составляют пропорцию. Пользуясь профилем, получаем:

$$\frac{A'B}{h_{AB}} = \frac{BC'}{x}, \quad x = \frac{BC'h_{AB}}{A'B}.$$

Расстояния $C'B$ и $A'B$ берут в миллиметрах, величину $h_{AB} = H_A - H_B$ берут в метрах. Искомая высота H_C найдется из условий:

$$H_C = H_B + x \text{ или } H_C = H_A - (h_{AB} - x).$$

Точность вычисления высот $\pm 0,1$ м.

6. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ

Продольный профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге размером 300 x 700 мм. Отступив от краев листа по 5 мм, проводят внешнюю рамку.

У левой рамки вычерчивают профильную сетку (рис. 6).

Масштабы продольного профиля: $M_{гор}$ 1:5000 (в 1 см – 50 м), $M_{верт}$ 1:500 (в 1 см – 5 м).

Рекомендуем следующий порядок заполнения профиля числовыми и графическими данными.

1. В строке ПИКЕТЫ расставляют номера пикетов (0, 1, 2 ... 20). Между пикетами – 100 м (в масштабе 2 см).

Одновременно в строке РАССТОЯНИЕ вертикальными линиями отмечают в масштабе плюсовые точки, высоты которых определены. Например, нужно нанести точки ПК 0 + 20 и ПК 0 + 70. Для этого от ПК 0 откладывают +20 м и подписывают полученный интервал 20. Затем от него же откладывают 70 м и подписывают интервал как $70 - 20 = 50$ м.

Оставшийся интервал подписывают $100 - 20 = 80$ м. Сумма расстояний между плюсовыми точками в пределах одного пикета должна равняться 100 м ($20 + 50 + 30 = 100$).

2. Заполняют нижнюю строку профиля ПРЯМЫЕ И КРИВЫЕ В ПЛАНЕ и УКАЗАТЕЛЬ КМ. Здесь строго на своих местах в привязке к пикетам в соответствии с ведомостью прямых и кривых (см. табл. 2) показывают протяженность (длину) и ориентировку (румбы) прямых участков трассы, а также расположение и главные элементы кривых на закруглениях. Круговые кривые изображают дугами. Дуга, обращенная выпуклостью вверх, означает поворот трассы вправо (конец дуги направлен вниз вправо), а выпуклостью вниз – поворот трассы влево (конец дуги направлен вверх влево). Над или под этими дугами записывают значения основных

элементов соответствующей круговой кривой: радиус закругления, угол поворота, длины тангенса и кривой.

Точки начала и конца каждой кривой соединяют вертикальными линиями с графой РАССТОЯНИЕ и на этих линиях записывают расстояния от обоих ближайших пикетов до точек начала и конца данной круговой кривой. Ниже плана трассы проставляются километровые указатели через каждые 10 пикетов.

3. РАЗВЕРНУТЫЙ ПЛАН ДОРОГИ. Посередине этой строки проводят условную прямую линию, представляющую трассу. Полосу шириной по 50 м в обе стороны вдоль трассы заполняют топографической ситуацией с карты.

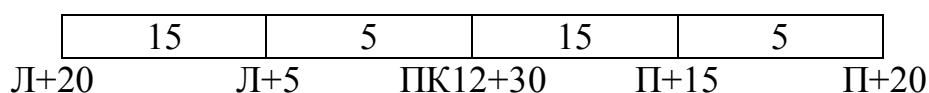
4. В строку ОТМЕТКА ЗЕМЛИ выписывают высоты пикетов и плюсовых точек из ведомости высот.

5. По высотам точек в масштабе 1:500 строят продольный профиль с таким расчетом, чтобы для наглядности самая низкая точка профиля была выше верхней линии профильной сетки примерно на 4–7 см. Для этого над ПК0 строят шкалу и на ней подписывают высоты, кратные 10 м, начиная от верхней горизонтальной линии профильной сетки, принимаемой за условный горизонт. Например, если минимальная высота $H_{\text{пк}20} = 117,5$ м, то условный горизонт равен: $117,5 \text{ м} - 5 \text{ см} \times 5 \text{ м} = 92,5 \text{ м}$. От линии условного горизонта откладывают вверх по ординатам отрезки, равные разности между высотой наносимой на профиль точки и высотой условного горизонта.

Полученные точки соединяют между собой ломаной линией. Остальные графы профиля заполняются данными из раздела «Проектирование по профилю».

Построение поперечных профилей обычно выполняют на том же листе в масштабах вертикальном и горизонтальном 1:500 (в 1 см 5 м).

Например. Необходимо построить поперечный профиль на ПК 12+30 м трассы по таким данным: ПК12+30 (Л+5; Л+20; П+15; П+20), т.е. ширина поперечников $20+20 = 40$ м. Проводят горизонтальную линию, равную по длине размеру поперечника 40 м (в масштабе 8 см). Середину отрезка, как точку трассы, в которой разбит поперечник, подписывают ПК12+30, от нее наносят влево точки Л+5 и Л+20 и вправо П+15, П+20.



Над полученными точками поперечника выписывают их высоты из ведомости высот. Построение поперечного профиля осуществляется по аналогии с построением продольного профиля.

От той же линии условного горизонта, от которой строился продольный профиль, откладывают вверх в масштабе величину каждой точки поперечника и соединяют их между собой ломаной линией.

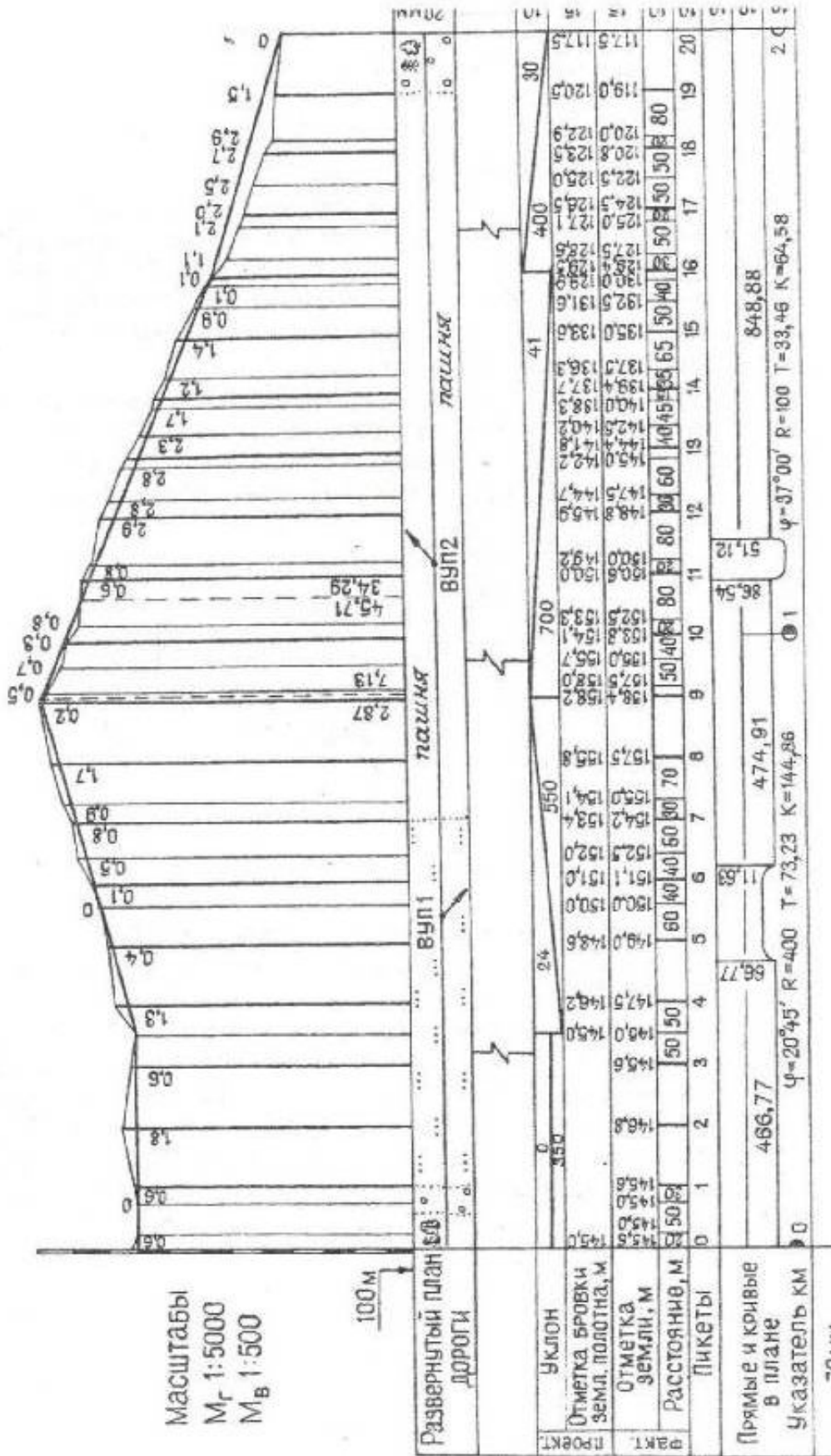


Рис. 6. Продольный профиль автомобильной дороги

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ПРОФИЛЮ

Проектирование по продольному профилю выполняют с целью выравнивания, т.е. сглаживания фактического профиля земной поверхности вдоль трассы для повышения эксплуатационных характеристик проектируемой дороги. Суть проектирования заключается в нанесении проектной линии на фактический профиль и в расчете параметров этой проектной линии, которая будет представлять высотное положение оси будущей дороги.

Линию проектного профиля строят на фактическом продольном профиле, руководствуясь техническими условиями на проектирование и строительство соответствующих сооружений.

Проектный профиль есть ломаная линия, состоящая из отрезков прямых разной длины и уклонов.

Начало и конец каждой проектной линии целесообразно намечать на пикетах или в плюсовых точках, имеющих фактические высоты.

Сопряжения проектных участков, т.е. конец предыдущего участка и начало следующего участка, образуют переломы проектного профиля.

Параметрами проектного профиля являются:

d – длина каждого участка проектной линии, имеющего данный постоянный уклон, м;

$H_{пр}$ – проектная высота начала и конца участка, а также других точек на протяжении участка, м;

i – проектный уклон участка;

h_p – рабочие отметки на всех точках трассы, м;

h_0 – точки нулевых работ на трассе.

После нанесения проектных линий места перелома проектного профиля отмечают в строке ПРОЕКТНЫЕ УКЛОНЫ вертикальными прямыми, делящими эту графу на прямоугольники. Внутри прямоугольников в соответствии с направлением уклона каждого участка проектного профиля проводят диагонали вверх или вниз, показывающие подъем или спуск на профиле. Если уклон равен нулю, то посередине прямоугольника проводят горизонтальную линию. Над каждой диагональю записывают величину уклона i , выраженную в «тысячных», а под ней – длину проектного участка в метрах.

Проектная высота начала первого участка обычно принимается равной фактической высоте данной точки (НТ, ПК0), округленной в большую сторону до целых метров ($H_{нач}$).

Проектная высота конца первого участка для определения уклона также принимается равной фактической высоте данной точки ($H_{кон}$), а затем перевычисляется, уточняется по определенному значению уклона этого участка.

Проектный уклон участка находится по формуле

$$i = \frac{H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}}{d} . \quad (15)$$

Уклон i вычисляется до 0,0001, округляется до 0,001 и по округленному его значению перевычисляется проектная высота конца участка:

$$H_{\text{кон}} = H_{\text{нач}} + id . \quad (16)$$

Проектная высота начала следующего участка принимается равной проектной высоте конца предыдущего участка.

Высоты промежуточных точек на протяжении данного участка вычисляются по аналогичной формуле

$$H_n = H_{n-1} + id_i , \quad (16')$$

где d_n – расстояние между предыдущей точкой данного проектного участка и следующей, м.

Рабочие отметки на всех точках вычисляют как разницу между проектными и фактическими высотами земной поверхности в тех же точках:

$$h_p = H_{\text{пр}} - H_{\text{ф}} . \quad (17)$$

Положительные величины рабочих отметок означают высоту насыпи, их пишут над проектной линией, отрицательные – глубину выемки, их пишут под проектной линией.

Точкой нулевых работ называется точка пересечения проектной линии профиля с фактической, т.е. с земной поверхностью. В этой точке рабочая отметка равна нулю, так как в ней находится граница между выемкой и подсыпкой грунта.

Горизонтальное расстояние от точек нулевых работ до ближайшего пикета или плюсовой точки определяется из подобия треугольников (рис. 7).

$$\frac{x}{a} = \frac{d - x}{b} ; \quad x = \frac{ad}{a + b} , \quad (18)$$

где a и b – рабочие отметки в точках;

d – расстояние между этими точками;

x – расстояние от точки нулевых работ до ближайшей предыдущей точки профиля.

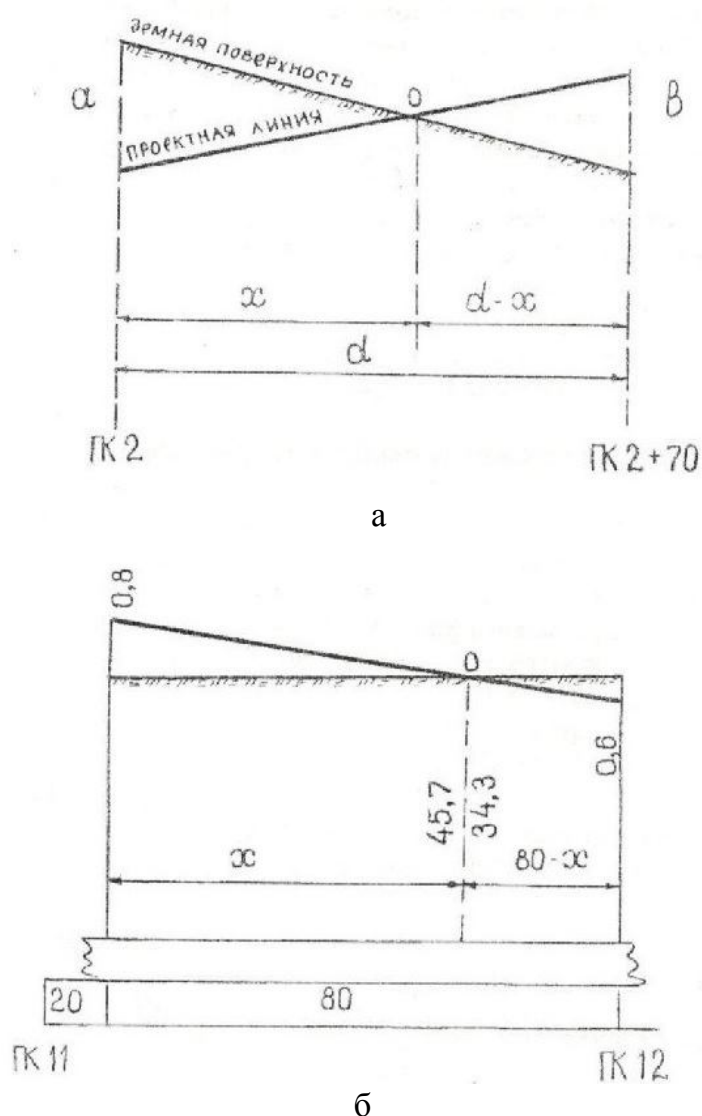


Рис. 7. Схемы определения положений точек нулевых работ на профиле:
а – общая схема; б – пример

На профиле точки нулевых работ отмечаются пунктирными ординатами, проведенными от этих точек к линии условного горизонта. С обеих сторон от этой линии подписывают расстояния от точки нулевых работ до соседних точек профиля.

На представленном продольном профиле трассы проектный ее профиль состоит из четырех участков:

- 1) ПК0 – ПК3 + 50... $d_1 = 350$ м;
- 2) ПК3 + 50 – ПК 9... $d_2 = 550$ м;
- 3) ПК9 – ПК16... $d_3 = 700$ м;
- 4) ПК16 – ПК20... $d_4 = 400$ м.

Согласно формуле (15) проектный уклон первого участка трассы определится из выражения

$$i_1 = \frac{H_{\text{ПК } 3+50} - H_{\text{ПК } 0}}{d_{\text{ПК } 3+50 - \text{ПК } 0}} = \frac{145,0 - 145,0}{350} = 0 \text{ тыс.}$$

Соответственно на профиле заполняется строка ПРОЕКТНЫЕ УКЛОНЫ: посередине строки проводят горизонтальную линию от начала до конца первого участка проектирования, выше этой линии подписывают численное значение проектного уклона (“0”), а ниже – расстояние 350 м.

Проектные высоты точек, расположенных на профиле между началом и концом проектного участка, вычисляются из выражения (16^л): проектная высота следующей точки равна проектной высоте предыдущей точки плюс произведение уклона линии на горизонтальное проложение между ними (d_n).

На первом участке проектирования проектная высота ПК0 = 145,0 м. Проектный уклон линии $i = 0$. Следовательно, проектная высота следующей точки профиля

$$H_{\text{ПК } 0+20} = H_{\text{ПК } 0} + id = 145,0 + 0 \cdot 20 = 145,0 \text{ м,}$$

т.е. на участке с нулевым уклоном проектные высоты всех точек равны между собой.

Вычисление рабочих отметок в каждой точке профиля по формуле

$$h_p = H_{\text{пр}} - H_{\text{ф}}$$

вряд ли требует более детальных пояснений.

Расчетные параметры второго проектного участка трассы определяются в той же последовательности и по тем же формулам, что и для первого участка.

Для вычисления проектного уклона второго участка (ПК3 + 50 – ПК9) проектная высота его начала принимается равной проектной высоте конца первого участка, т.е.

$$H_{\text{ПК } 3+50}^{\text{пр}} = 145,0 \text{ м} = H_{\text{нач}}.$$

За проектную высоту конца второго участка (ПК9) предварительно принимается фактическая высота

$$H_{\text{ПК } 9}^{\text{ф}} = 158,4 \text{ м} = H_{\text{кон}}.$$

Рассчитывается проектный уклон второго участка:

$$i_2 = \frac{H_{\text{ПК } 9}^{\phi} - H_{\text{ПК } 3+50}^{\text{пр}}}{d_{\text{ПК } 9-\text{ПК } 3+50}} = \frac{158,4 - 145,0}{550} = \frac{13,4}{550} = 0,0243.$$

Округляем этот уклон до тысячных, т.е. $i = 0,024$. По нему вычисляем проектную высоту конца второго участка (ПК9):

$$H_{\text{ПК } 9}^{\text{пр}} = H_{\text{ПК } 3+50}^{\text{пр}} + 0,024 \cdot 550 = 145,0 + 13,2 = 158,2 \text{ (м)}.$$

Это значение высоты и принимается за проектную высоту конца второго проектного участка (ПК9).

По аналогии с этим осуществляется определения уклона и проектной высоты конца любого следующего участка. На третьем проектном участке нашего профиля

$$i_3 = \frac{H_{\text{ПК } 16}^{\phi} - H_{\text{ПК } 9}^{\text{пр}}}{d_{\text{ПК } 16-\text{ПК } 9}} = \frac{129,4 - 158,2}{700} = -0,0411.$$

Округляем уклон до тысячных: $i = -0,041$ тыс.

По нему вычисляем проектную высоту конца третьего участка (ПК16):

$$H_{\text{ПК } 16}^{\text{пр}} = H_{\text{ПК } 9}^{\phi} + id = 158,2 - 0,041 \cdot 700 = 158,2 - 28,7 = 129,5 \text{ (м)}.$$

Положение точки нулевых работ на третьем проектном участке трассы по аналогии с формулой (18) определится из подобия треугольников с общей вершиной в т. 0 и с основаниями 0,8 и 0,6 м (см. рис. 7):

$$\frac{0,8 \text{ м}}{x} = \frac{0,6 \text{ м}}{80 - x}; \quad x = 80 \frac{0,8}{0,8 + 0,6} = 45,7 \text{ (м)};$$

$$80 - x = 80,0 - 45,7 = 34,3 \text{ (м)}.$$

Эти расстояния от точки нулевых работ (45,7 м до ближайшей предыдущей точки профиля (ПК11+20) и 34,3 м до ближайшей последующей точки (ПК12)) подписываются с обеих сторон от ординаты, проведенной из точки нулевых работ к линии условного горизонта.

На четвертом участке профиля

$$i_4 = \frac{H_{\text{ПК } 20}^{\phi} - H_{\text{ПК } 16}^{\text{пр}}}{d_{\text{ПК } 20-\text{ПК } 16}} = \frac{117,5 - 129,5}{400} = -0,030.$$

Поскольку величина уклона на данном участке не требует округления до тысячных, то она и принимается за проектный уклон. Следовательно, не требуется вычисления и проектной высоты конца четвертого участка, т.е.

$$H_{\text{ПК } 20}^{\text{пр}} = H_{\text{ПК } 20}^{\text{ф}} = 117,5 \text{ м.}$$

Когда определены проектные высоты начала и конца проектных участков, а также их уклоны, то остальные их параметры (проектные высоты промежуточных точек, рабочие отметки и точки нулевых работ) определяются по аналогии с расчетами, представленными в полном объеме для первого проектного участка.

8. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна содержать:

- титульный лист;
- задание на проектирование (план участка местности, на котором производится проектирование трассы), условия, требования;
- текст пояснительной записки, расчеты, таблицы;
- графический материал;
- список использованной литературы.

Задание на проектирование, выдаваемое преподавателем в виде участка топографической карты, подшивается в пояснительную записку после титульного листа.

Текст пояснительной записки включает последовательное изложение хода проектирования автомобильной дороги с соответствующими расчетами, таблицами, чертежами.

Текст пишется на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Нумерация листов начинается с титульного листа и включает все иллюстрации и таблицы. Схемы можно чертить на листах с текстом или на отдельных листах.

В список литературы включаются учебники, ГОСТы, методическая и другая литература с последующей ссылкой на данный источник в тексте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.02-85* (СП 34.13330). Автомобильные дороги. М., 2012.
2. Шаров А.Ю., Чижов А.А. Конструкция путей сообщения: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург, 2015, 39 с.
3. Ганышин В.Н., Хренов Л.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. М.: Недра, 1985.