

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

В. Н. Киселев  
А. А. Иванов

# ПРОЕКТ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Методические указания  
к выполнению курсового проекта  
для студентов специальности  
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Новополоцк  
ПГУ  
2014

УДК 625.7(075.8)  
ББК 39.311я73

Одобрено и рекомендовано к изданию  
методической комиссией инженерно-строительного факультета  
в качестве методических указаний (протокол № 2 от 31.10.2013)

Кафедра строительных конструкций

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций А. И. Колтунов;  
канд. техн. наук, доц. каф. строительного производства Л. М. Парфенова

## СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Пояснительная записка (ПЗ) курсового проекта состоит из следующих разделов.

Введение.

1. Определение основных технических нормативов автомобильной дороги (10%).

1.1. Установление технической категории (1%).

1.2. Определение расчетного расстояния видимости (1%).

1.3. Определение радиусов вертикальных и горизонтальных кривых (3%).

1.4. Расчет ширины проезжей части и земляного полотна (1%).

2. Проектирование закругления малого радиуса (15%).

2.1. Проектирование плана закругления малого радиуса (6%).

2.2. Проектирование поперечного профиля закругления (5%).

2.3. Проектирование отгона виража (8%).

3. Проектирование участка автомобильной дороги (55%).

3.1. План автомобильной дороги (12%).

3.2. Продольный профиль (40%).

3.3. Поперечные профили земляного полотна и проезжей части (2%).

3.4. Конструкция дорожной одежды (1%).

4. Определение объемов работ (20%).

4.1. Определение объемов земляных работ (16%).

4.2. Определение объемов планировочных и укрепительных работ (4%).

5. Список литературы.

## ВВЕДЕНИЕ

Во введении указывается, что курсовой проект выполнен согласно заданию, выданному кафедрой «Строительные конструкции». Указывается дата получения студентом задания. Приводится оригинал задания.

Далее дается краткая характеристика района строительства.

В пояснительной записке на основе исходных данных, справочной литературы освещают следующие вопросы:

- средние температуры наиболее холодного и наиболее жаркого месяца;
- толщину снежного покрова с вероятностью превышения 5% ;
- максимальную глубину промерзания грунтов (80 – 100 см) [4];
- макрорельеф местности в районе проектирования и его тип (равнинный, пересеченный);
- условия поверхностного стока; характеристику существующих дорог.

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

## 1.1. Установление технической категории автомобильной дороги

Ориентировочно категория дороги назначается по перспективной интенсивности движения  $N_t$ , авт./сут

$$N_t = N_0 (1 + 0,01 p)^{t-1}, \quad (1.1)$$

где  $N_0$  – начальная интенсивность движения, авт./сут (по заданию);

$p$  – ежегодный прирост интенсивности, % (по заданию);

$t$  – расчетный период ( $t = 20$  лет).

По полученной формуле (1.1) расчетной интенсивности движения автомобилей категорию дороги определяют в соответствии с п. 4.1 ТКП 45 – 3.03 – 19 – 2006

## 1.2. Определение расчетного расстояния видимости

Расчетное расстояние видимости определяют по четырем схемам:

- 1) остановка автомобиля перед препятствием;
- 2) торможение двух автомобилей, двигающихся навстречу друг другу;
- 3) обгон легковым автомобилем грузового автомобиля при наличии встречного движения;
- 4) боковая видимость.

По первой схеме расчетное расстояние видимости  $S_1$ , м, называют видимостью поверхности дороги:

$$S_1 = V_p \cdot t_p / 3,6 + K_3 \cdot V_p^2 / [254 (\varphi_1 - i)] + l_{зб},$$

где  $V_p$  – расчетная скорость движения автомобиля для дороги принятой технической категории, принимается в соответствии с п. 5.1.1 ТКП [2], км/ч;

$t_p$  – время реакции водителя и включения тормозов,  $t_p = 2,6$  с;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий эффективность действия тормозов, величину которого можно принять равной 1,3 для легковых автомобилей и 1,85 – для остальных;

$\varphi_1$  – коэффициент продольного сцепления ( $\varphi_1 = 0,4 - 0,5$ );

$i$  – продольный уклон участка дороги, равный максимально допустимому для принятой категории дороги (п. 5.3.2-5.3.4 [2]);

$l_{36}$  – зазор безопасности между автомобилем и препятствием ( $l_{36} = 5$  м).

По второй схеме расчетное расстояние видимости  $S_2$ , м, встречного автомобиля равно:

$$S_2 = V_p \cdot t_p / 1,8 + K_3 \cdot \varphi_1 \cdot V_p^2 / 127 / (\varphi_1^2 - i^2) + l_{36}.$$

По схеме обгона расчетное расстояние видимости  $S_3$ , м, вычисляют по формуле

$$S_3 = V_1^2 / [1,8(V_1 - V_2)] + K_3 \cdot V_1(V_1 + V_2) / (127 \cdot \varphi_1) + \\ + [K_3 \cdot V_2^2 / (254 \cdot \varphi_1) + l_{36}] \cdot 2V_1 / (V_1 - V_2),$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости движения легкового и грузового автомобилей, км/ч.

При обгоне легковым автомобилем грузового скорость последнего на 30% ниже конструктивной. Встречный автомобиль (легковой) движется со скоростью не выше 90 км/ч на дорогах I-б, I-в, II и III категории и не выше расчетной на дорогах IV, V категории.

Боковую видимость  $S_{бок}$ , м, вычисляют по формуле

$$S_{бок} = 2 \cdot S_1 \cdot V_n / V_p,$$

где  $V_n$  – скорость бегущего пешехода, пересекающего дорогу ( $V_n = 10$  км/ч);

$V_p$  – расчетная скорость движения автомобиля для дороги принятой технической категории;

$S_1$  – расчетное расстояние видимости по первой схеме.

По нормам ТКП [2] расчетное расстояние видимости поверхности дороги равно 350, 250, 160, 100 и 60 м для расчетных скоростей 140, 120, 100, 80 и 60 км/ч соответственно.

Расчетное расстояние видимости по второй схеме не нормируется. Боковая видимость для дорог I и II категорий равна 25 м, для III и IV – 15 м.

Полученное значение расчетного расстояния видимости  $S_1$  и  $S_{бок}$  сопоставляется с нормами ТКП, и для дальнейшего проектирования принимаются большие значения.

### 1.3. Определение радиусов вертикальных и горизонтальных кривых

#### 1.3.1. Вертикальные кривые

Минимальный радиус вертикальной выпуклой кривой  $R_{\text{вып, min}}$ , м, определяют из условия обеспечения видимости поверхности дороги по следующей формуле:

$$R_{\text{вып, min}} = 0,5(S_1)^2 / (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2, \quad (1.2)$$

где  $S_1$  – расчетное расстояние видимости поверхности дороги;

$h_1$  – высота расположения глаз водителя легкового автомобиля над поверхностью дороги ( $h_1 = 1,0$  м);

$h_2$  – высота неподвижного препятствия ( $h_2 = 0,15$  м).

Рекомендуемый радиус вертикальной выпуклой кривой  $R_{\text{вып, рек}}$ , м, вычисляют по условию обеспечения безопасного обгона

$$R_{\text{вып, рек}} = 0,5(S_3)^2 / (\sqrt{h_1} + \sqrt{H})^2, \quad (1.3)$$

где  $S_3$  – расчетное расстояние видимости по условию обгона, принятое для проектирования;

$H$  – высота встречного легкового автомобиля (в курсовом проекте можно принять  $H = 1,45$  м).

Минимальный радиус вертикальной вогнутой кривой  $R_{\text{вог, min}}$ , м, определяем из условия недопущения перегрузки рессор:

$$R_{\text{вог, min}} = V^2 / (13a_0), \quad (1.4)$$

где  $V$  – расчетная скорость для принятой категории дороги;

$a_0$  – допускаемое центробежное ускорение,  $a_0 = 0,5 - 0,7$  м/с.

Рекомендуемый радиус вертикальной вогнутой кривой  $R_{\text{вог, рек}}$ , м, определяют из условия обеспечения видимости дороги ночью:

$$R_{\text{вог, рек}} = 0,5(S_1)^2 / [h_{\text{ф}} + S_1 \sin(a / 2)], \quad (1.5)$$

где  $S_1$  – принятое расчетное расстояние видимости поверхности дороги;

$h_{\text{ф}}$  – возвышение центра фары над поверхностью дороги, (принимают 0,5 м);

$a$  – угол рассеивания пучка света фар:  $a = 2^\circ$ .

Вычисленные по формулам (1.2) – (1.5) значения радиусов округляют с точностью до 5 м в большую сторону, сопоставляют с нормами ТКП (п. 5.3.2 – 5.3.4 [2]). Для дальнейших расчетов принимают большие значения радиусов вертикальных кривых.

### 1.3.2. Горизонтальные кривые

Минимальный радиус горизонтальной кривой  $R_{\min}$ , м, вычисляют для случаев односкатного (вираж) и двухскатного поперечных профилей проезжей части по формуле

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_n)}, \quad (1.6)$$

где  $V$  – расчетная скорость для дороги принятой категории, км/ч;  
 $\mu$  – коэффициент поперечной силы по условиям удобства пассажиров;

$$\mu = 0,2 - 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot V, \quad (1.7)$$

$i_n$  – поперечный уклон проезжей части в долях единицы, для виража принимается со знаком «плюс», для двухскатного поперечного профиля – со знаком «минус».

Максимальный уклон виража по нормам ТКП [2] составляет 40‰ в северном дорожно-климатическом районе, 45‰ в центральном и 50‰ в южном. (Деление территории Республики Беларусь приведено в приложении).

Поперечный уклон проезжей части с двухскатным поперечным профилем зависит от типа покрытия (на дорогах II – V категории в курсовом проекте принимается равным 0,020, на дорогах I категории – 0,025).

Вычисленные по формуле (1.6) значения радиусов округляют в большую сторону с точностью до 5 м. Минимальный радиус кривых в плане **в случае виража** ( $i = i_v$ ) принимается равным полученному по формуле (1.6).

Минимальный радиус круговой кривой **в случае двухскатного поперечного профиля** проезжей части ( $i = i_n$ ) принимается равным 3000 м и более для дорог I технической категории, 2000 м – для II – IV и 1000 м – для V. В случае устройства дорожной одежды переходного типа минимальный радиус круговой кривой при двухскатном поперечном профиле проезжей части равен 1000 м для дорог IV категории и 600 м – для V.

#### 1.4. Расчет ширины проезжей части и дорожного полотна

Вначале устанавливают количество и ширину полос движения, составляющих проезжую часть дороги. После этого вычисляют ширину проезжей части и дорожного полотна.

По нормам ТКП [2] на дорогах I технической категории принимают четыре полосы движения и более, на дорогах II – V категории устраивают две полосы движения. На дорогах категорий I-а, I-б, I-в следует предусматривать шесть полос движения при расчетной интенсивности движения 30 000 авт./сут в случае дороги I-а категории, 40 000 авт./сут в случае дорог I-б и I-в категорий. На участках дорог с двухполосной проезжей частью и расчетной интенсивностью движения свыше 1000 авт./сут при продольном уклоне более 30‰ и длине участка свыше 1 км, а при уклоне более 40‰ и длине участка свыше 0,5 км следует предусматривать дополнительные полосы в сторону подъема.

Ширина проезжей части на двухполосных дорогах для случая встречного движения двух грузовых автомобилей или автобусов,  $b$ , м

$$b = a_{\text{к}} + c_{\text{к}} + z_{\text{в}} + z_{\text{к1}} + z_{\text{к2}}, \quad (1.8)$$

где  $a_{\text{к}}$ ,  $c_{\text{к}}$  – ширина кузова и колея грузового автомобиля или автобуса, принимают 2,4 и 2 м соответственно;

$z_{\text{в}}$  – зазор безопасности между кузовами встречных автомобилей или автобусов, м, зависит от скорости движения встречных автомобилей  $V_1$  и  $V_2$

$$z_{\text{в}} = 0,3 + 0,1 \cdot \sqrt{V_1 + V_2};$$

$z_{\text{к1(2)}}$  – расстояние от оси следа колеса до края проезжей части, м

$$z_{\text{к1(2)}} = \sqrt{0,1 + 0,0075 \cdot V_{1(2)}},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости движения встречных грузовых автомобилей, км/ч, принимаются равными максимальной конструктивной для данного автомобиля (автобуса) скорости, уменьшенной на 15 – 20%, но не выше 70 км.

На двухполосных дорогах ширину проезжей части определяют также и для случая обгона легковым автомобилем грузового, м

$$b = \frac{a_{\text{к}} + c_{\text{к}}}{2} + \frac{a_{\text{л}} + c_{\text{л}}}{2} + z_0 + z_{\text{к1}} + z_{\text{к2}}, \quad (1.9)$$

где  $z_0$  – зазор безопасности между кузовами автомобилей при обгоне, м

$$z_0 = 0,3 + 0,0075 \cdot \sqrt{V_1 + V_2},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости движения легкового и грузового автомобилей, принимаются следующими: для грузового – на 30% ниже конструктивной, но не выше 70 км/ч; для легкового – 80 км/ч на дорогах IV категории и 90 км/ч – на дорогах II и III категорий.

Таблица 1.1

Наименование элементов	Значение элементов для категорий					
	I-а	I-б, I-в	II	III	IV	V
Число полос движения	4,6	4,6	2	2	2	2
Ширина полосы движения	3,75	3,50	3,50	3,50	3,0	2,75
Ширина обочины, м	3,75	3,00	3,00	2,50	2,0	1,25
в том числе:						
– укрепленной полосы, м;	–	0,5	0,75	0,50	0,50	–
– остановочной, м	2,5	2,5	–	–	–	–
Наименьшая ширина разделительной полосы, м,	$2 + c$	$2 + c$	–	–	–	–
в том числе укрепленной полосы	0,75	0,50	–	–	–	–
Ширина дорожного полотна	28,5	25	13	12	10	8
	36,0	32				

*Примечание.*  $c$  – ширина ограждения (в курсовом проекте может быть принята равной 1,0 м).

Полученные по формулам (1.8) и (1.9) значения ширины проезжей части двухполосных дорог сопоставляют с нормами. В случае значительного превышения ширины проезжей части, вычисленной по формулам (1.8) и (1.9), по сравнению с требованиями норм ТКП, что часто имеет место при встрече двух грузовых автомобилей на дорогах IV и III технической категорий, следует учесть краевые полосы шириной 0,5; 0,5 и 0,75 м на дорогах соответственно IV, III и II технической категории и снижать значение  $z_k$  (см. формулу (1.9)) на величину краевых полос. При небольшом различии между вычисленной и нормативной шириной проезжей части для дальнейшего проектирования следует принимать нормативную ширину, при большом – полученную расчетом, округляя с точностью до 10 см.

По нормам ТКП на дорогах категории I-а ширина полосы движения равна 3,75 м, на дорогах категорий I-б и I-в – 3,5 м. Ширина проезжей части дороги I технической категории равна суммарной ширине всех полос движения. Например, на дороге I-а категории с числом полос движения четыре ширина проезжей части  $2 \cdot (3,75 + 3,75) = 2 \cdot 7,5$  м.

Остановочные полосы, представляющие собой часть обочины с дорожной одеждой капитального или облегченного типа шириной 2,5 м, следует предусматривать на автомагистралях (дорогах категории I-а) всегда, а на дорогах категории I-б – при интенсивности движения более 15 000 авт./сут, а на дорогах категории I-в – при интенсивности движения более 20 000 авт./сут.

Ширина обочин принимается в соответствии с таблицей 1.1.

Ширина дорожного полотна двухполосных дорог равна ширине проезжей части и двух обочин и приведена в таблице 1.1.

Этот раздел проекта заканчивают таблицей технических параметров проектируемой дороги по таблице 1.2.

Таблица 1.2

Наименование технических показателей	Измеритель	Получено по расчетам	По нормам	Принято для проектирования

*Примечание.* В таблице 1.2 приводится также продольный уклон дороги в соответствии с [2].

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ МАЛОГО РАДИУСА

На закруглении с радиусами менее рекомендуемых предусматривают переходные кривые и виражи, а также уширение проезжей части.

### 2.1. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса

Проектирование плана закругления малого радиуса ведут в такой последовательности.

Вычисляют длину переходной кривой  $L$ , м

$$L = \frac{V^3}{47 \cdot J \cdot R}, \quad (2.1)$$

где  $V$  – расчетная скорость для дороги принятой категории, км/ч;

$J$  – допускаемая скорость нарастания бокового ускорения, м/с<sup>3</sup>, принимается равной 0,3 для радиусов закруглений 300 м и более и 0,4 для радиусов менее 300 м, в обычных условиях и 0,5; 0,7 в стесненных условиях;

$R$  – радиус круговой кривой.

Схема закругления малого радиуса представлена на рис. 2.1.

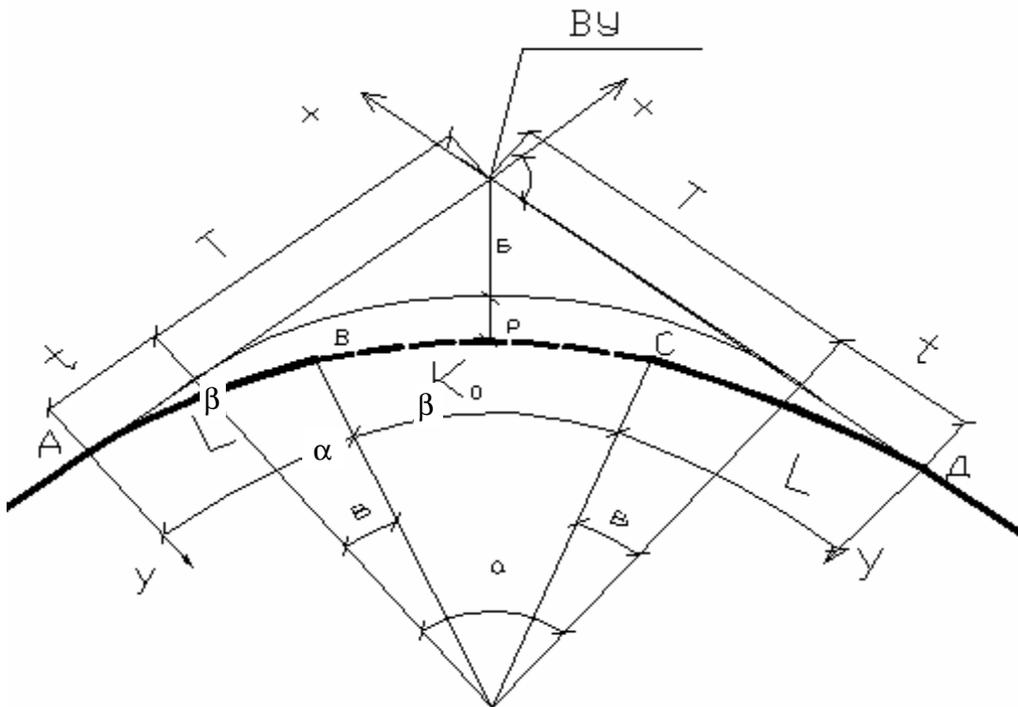


Рис. 2.1. Элементы закругления с симметричными переходными кривыми

Полученные значения по формуле (2.1)  $L$  сопоставляют с минимальными по нормам проектирования (табл. 2.1). Для дальнейшего расчета принимают большее значение длины переходной кривой.

Таблица 2.1

Радиусы круговых кривых, м	Наименьшие длины переходных кривых, м, для дорог категорий			
	I-a	I-б, I-в, II, III	IV – V с дорожной одеждой усовершенствованного типа	IV – V с дорожной одеждой переходного типа
2000	200	200	100	-
1800	180	180	100	-
1500	150	150	100	-
1200	160	120	100	-
1000	170	120	100	-
800	150	150	100	-
600	-	170	120	60
500	-	130	140	70
400	-	-	150	90
300	-	-	130	120
250	-	-	100	100
200	-	-	90	90
150	-	-	80	80

Далее находят угол  $\beta$ , градусы (см. рис. 2.1), на который уменьшится круговая кривая при вписывании одной переходной кривой:

$$\beta = \frac{L}{2 \cdot R} \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Проверяют условие возможности разбивки закругления с переходной кривой:

$$\alpha \geq 2 \cdot \beta, \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  – угол поворота трассы.

Если условие (2.2) не выполнено, то следует изменить длину переходной кривой или угол поворота трассы.

Вычисляют длину круговой кривой  $K_0$ , м, по формуле

$$K_0 = R \cdot \pi \cdot (\alpha - 2\beta) / 180 \quad (2.3)$$

где  $\alpha$  – угол поворота трассы в градусах.

Закругления с переходными кривыми обычно выносят на местность методом прямоугольных координат  $X$  и  $Y$ , помещая начало координат в начало первой переходной кривой (т.  $A$  на рис. 2.1) и в конец второй (т.  $D$ ).

Координаты переходной кривой:

$$\begin{aligned} X &= S - S^5 / (40 A^4), \\ Y &= S^3 / (6A^2) - S^7 / (336 A^6), \end{aligned} \quad (2.4)$$

где  $S$  – расстояние от начала координат до рассматриваемой точки на переходной кривой;

$A = \sqrt{LR}$  – параметр переходной кривой длиной  $L$ .

Далее определяют смещение  $t$  и сдвигку  $p$  переходной кривой:

$$\begin{aligned} t &= X_B - R \sin \beta; \\ p &= Y_B - R (1 - \cos \beta), \end{aligned} \quad (2.5)$$

где  $X_B$  и  $Y_B$  – координаты конца переходной кривой, которые определяют по формуле (2.4), принимая  $S = L$ .

Вычисляют тангенс  $T$  и домер  $D$ :

$$\begin{aligned} T &= (R + p) \operatorname{tg} (\alpha/2), \\ D &= 2 (T + t) - (2L + K_0). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Пикетное положение основных точек закругления определяют по формулам:

т. $A$ (начало закругления)	$HЗ = ВУ - (T + t);$
т. $B$ (начало круговой кривой)	$HKK = HЗ + L;$
т. $C$ (конец круговой кривой)	$KKK = HЗ + L + K_0;$
т. $D$ (конец закругления)	$KЗ = HЗ + 2L + K_0.$

Полученные результаты расчета основных параметров закругления сводят в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Характеристика закругления на пикете ...+...									
$\alpha$	$R$	$L$	$T$	$t$	$K_0$	Д	НЗ	СЗ	КЗ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Для выноски переходной кривой вычисляют координаты  $X$  и  $Y$  по формулам (2.4), а для выноски круговой кривой (до ее середины),  $m$  – по следующим формулам:

$$\begin{cases} x = t + R \sin [\beta + (S - L)180 / (R\pi)]; \\ y = p + R - R \cos [\beta + (S - L)180 / (R\pi)], \end{cases}$$

где  $t, p$  – смещение и сдвигка, вычисленные по формулам (2.5);

$S$  – расстояние от начала закругления до рассматриваемой точки на круговой кривой.

В курсовом проекте обязательно следует вычислить координаты пикетов, находящихся в пределах закругления, а также плюсовых точек, кратных 10 м (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

Так как разбивка закругления до середины выполняется в системе  $x_1y_1$  (см. рис. 2.1), а после середины – в системе  $x_2y_2$ , то и координаты точек определяются в системах  $x_1y_1$  или  $x_2y_2$ .

Вычисленные значения координат  $x$  и  $y$  в пояснительной записке заносят в таблицу 2.3.

В пояснительной записке на листе писчей бумаги формата А4 (в масштабе) вычерчивают план трассы закругления малого радиуса (см. рис. 2.1), соответствующий в масштабе данным задания. Масштаб выбирают исходя из размеров фактических элементов закругления.

Таблица 2.3

Пикетное положение точки	Система координат	Расстояние до точки	Координаты	
			$x$	$y$
НЗ (КЗ)	$x_1y_1$ ( $x_2y_2$ )	0,00	0,00	0,00

## 2.2. Проектирование поперечного профиля закругления

Элементы поперечного профиля принимают в соответствии с категорией дороги (см. табл. 1.1), а уширение проезжей части на кривой – по таблице 2.4, в которой приведена величина уширения на две полосы при радиусах кривых 500 м и менее.

Таблица 2.4

Радиус кривой в плане, м	500	300	200	150	100	50
Уширение для двух полос, м	0,25	0,40	0,50	0,75	1,00	2,10

Проезжую часть уширяют с внутренней стороны закругления за счет обочины. При этом ширина оставшейся обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I и II категорий и не менее 1,0 м для III – V категорий. Размер уширения постоянен в пределах круговой кривой  $K_0$  радиуса 500 м. Если радиус круговой кривой менее 500 м, то уширение проезжей части начинается и заканчивается на переходной кривой в точке с радиусом кривизны 500 м. Отгон уширения следует выполнять на участках длиной 20 м, прилегающих к точке закругления с радиусом кривизны 500 м.

На закруглении с радиусами, не более приведенных в таблице 2.5, проезжая часть имеет односкатный поперечный профиль (вираж).

Таблица 2.5

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60
Радиус кривизны, м	<u>3000</u> –	<u>2000</u> –	<u>2000</u> –	<u>2000</u> 600	<u>1000</u> 600

Примечание. В числителе приведены значения для дорог с усовершенствованным покрытием, в знаменателе – с переходным.

Максимальный уклон виража  $i_b$  определяется по формуле

$$i_b = \frac{V^2}{127 \cdot R} - \mu, \quad (2.7)$$

где  $V$  – расчетная скорость движения автомобиля для заданной категории дороги, км/ч;

$R$  – радиус круговой кривой, м;

$\mu$  – коэффициент поперечной силы, определяется по формуле (1.7).

Полученный по формуле (2.7) уклон виража сопоставляется с требованиями норм ТКП [2], приведенных в таблице 2.6. В расчет принимается большее значение уклона виража. При этом максимальный уклон виража не должен превышать 40‰ в северном районе Беларуси, 45‰ – в центральном и 50‰ – в южном.

Минимальный уклон по условиям водоотвода с проезжей части должен быть не менее  $i_n$ . Поэтому в случае если расчетом получено  $i_b < i_n$ , принимают  $i_b = i_n$ .

Из таблицы 2.6 следует, что уклон виража 25‰ принимают на дорогах категории I-а при радиусах круговой кривой от 1330 до 3000 м, на дорогах категорий I-б, I-в при радиусах круговой кривой от 850 до 2000 м. На дорогах категорий II, III, IV уклон виража 20‰ назначают при радиусах от 850 до 2000 м.

Таблица 2.6

Уклон виража, ‰	Минимальный радиус круговой кривой для категорий		
	I-а	I-б, I-в, II-IV	V (с усовершенствованными дорожными одеждами)
20 (25)	1330	850	540
30	1240	800	510
40	1150	750	480
50	1060	700	450

Из таблицы 2.6 следует, что уклон виража 25% принимают на дорогах категории I-а при радиусах круговой кривой от 1330 до 3000 м, на дорогах категорий I-б, I-в при радиусах круговой кривой от 850 до 2000 м. На дорогах категорий II, III, IV уклон виража 20% назначают при радиусах от 850 до 2000 м.

### 2.3. Проектирование отгона виража на автомобильной дороге с двухполосной проезжей частью

**Отгон виража** – переход от двухскатного поперечного профиля проезжей части к односкатному.

На закруглении плана трассы с переходными кривыми проектируют два отгона виража. Первый отгон виража размещается на переходной кривой, следующей от начала закругления, а второй – от конца. Методика проектирования отгона виража зависит от величины радиуса круговой кривой и уклона виража  $i_v$ . Возможны два случая:

- 1)  $i_v = i_n$ ;
- 2)  $i_v > i_n$ .

#### 2.3.1. Проектирование отгона виража при $i_v = i_n$

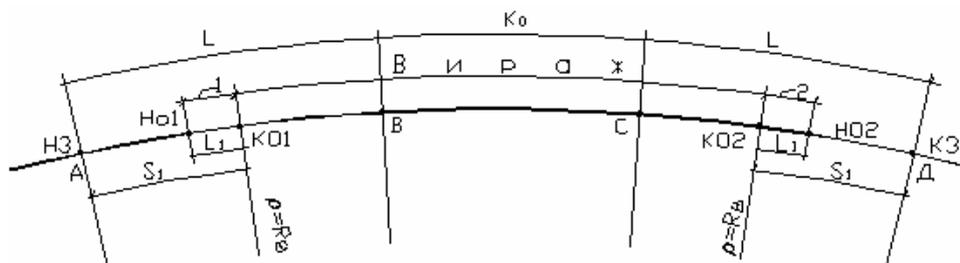


Рис. 2.2. Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае  $i_v = i_n$ :

1 – первый отгон виража; 2 – второй отгон виража

В случае  $i_v = i_n$ , если радиусы горизонтальных кривых трассы (см. табл. 2.6) не менее 850 м на дорогах II – IV категорий, не менее 540 м для дорог V категории, то *уширение проезжей части не производится*. Отгон виража принимается минимальной длины, исходя из допускаемого дополнительного уклона  $i_n$  внешней кромки проезжей части:

$$L_1 = b \cdot i_n / i_d, \quad (2.8)$$

где  $b$  – ширина двухполосной проезжей части дорог II–V категорий;

$i_{\text{п}}$  – поперечный уклон проезжей части;

$i_{\text{д}}$  – дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, равный 5‰ для дорог I – IV категорий и 10‰ для дороги V категории.

Пикетное положение начала первого отгона виража (НО1) равно

$$\text{ПК (НО1)} = \text{НЗ} + S_1 - L_1, \quad (2.9)$$

где НЗ – пикетное положение начала закругления;

$S_1$  – длина части переходной кривой от ее начала до точки с радиусом кривизны 2000 м на дорогах II, III, IV категорий, 1000 м – на дорогах V категории;

$L_1$  – минимальная длина отгона виража, определяется по формуле (2.8).

$$S_1 = L R/R_{\text{в}}, \quad (2.10)$$

где  $R$  – радиус круговой кривой, следующей за переходной;

$R_{\text{в}}$  – радиус кривизны переходной кривой, при которой назначается вираж; по таблице 2.3 принимается равным 2000 м для дорог I-б, I-в, II – IV категорий и 3000 м – для дорог категории I-а.

Если  $S_1 < L_1$ , определенной по формуле (2.8), то следует принимать  $S_1 = L_1$ .

Пикетное положение начала второго отгона виража НО2 определяется по рисунку 2.2

$$\text{ПК (НО2)} = \text{КЗ} - S_1 + L_1, \quad (2.11)$$

где КЗ – пикетное положение конца закругления.

Пикетное положение конца первого отгона виража определяется по формуле

$$\text{ПК (КО1)} = \text{НЗ} + S_1, \quad (2.12)$$

а второго отгона – по формуле

$$\text{ПК (КО2)} = \text{КЗ} - S_1. \quad (2.13)$$

На первом и втором отгонах виража вычисляют относительные отметки кромок проезжей части, кромок укрепленных полос, бровок обочины, принимая отметку оси проезжей части равной нулю (рис. 2.3). Эти отметки вычисляют в начале и конце участка, а также на пикетах, плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

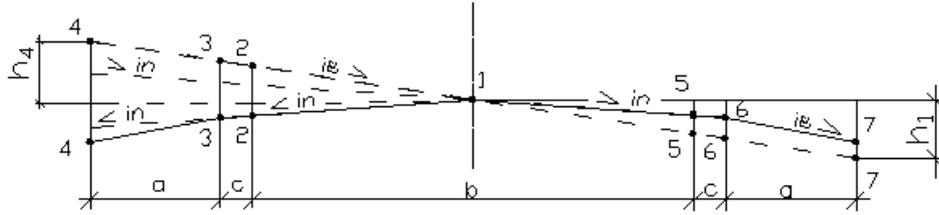


Рис. 2.3. Линии поперечного профиля дорожного полотна:  
 1 – ось дороги; 2, 5 – внешняя и внутренняя кромки проезжей части;  
 3, 6 – кромки укрепленной полосы; 4, 7 – внешняя и внутренняя бровка обочины

По известным проектным отметкам (отметки оси проезжей части) вычисляют проектные отметки кромок и бровок на каждом поперечнике, прибавляя к проектным отметкам величину относительных отметок.

Рассмотрим последовательность вычисления относительных отметок линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 (см. рис. 2.3) на первом и втором отгоне (см. рис. 2.2).

Исходный поперечник № 0, расположенный в начале первого отгона виража на пикете ПК (НО1) и второго на ПК(НО2) (см. рис. 2.2) равен:

$$\begin{aligned}
 h_1^0 &= 0; \\
 h_2^0 &= h_5^0 = -i_n b_1; \\
 h_3^0 &= h_6^0 = -i_n (b_1 + c); \\
 h_4^0 &= h_7^0 = h_3^0 - i_0 (a - c),
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

где  $h_2^0, h_3^0, h_4^0, h_5^0, h_6^0, h_7^0$  – относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечнике № 0;

$b_1, c, a$  – ширина полосы движения, укрепленной полосы и обочины (см. рис. 2.3);

$i_0$  – уклон обочины.

Конечный поперечник расположен на расстоянии  $L_1$  от начального. Относительные отметки линий 2, 3 и 4 вычислим по формулам

$$\begin{aligned}
 h_1^{k1} &= 0; \\
 h_2^{k1} &= i_n b_1; \\
 h_3^{k1} &= i_n (b_1 + c); \\
 h_4^{k1} &= h_3^{k1} (a - c),
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

Линии 5, 6, 7 – внутренние кромки проезжей части, укрепленной полосы и обочины – имеют одинаковые относительные отметки на всем протяжении отгона виража, равные вычисленным по формуле (2.14). Изменяются отметки линий 2, 3 и 4. Они вычисляются следующим образом. Так

как линия 2 (внешняя кромка проезжей части) на протяжении отгона имеет дополнительный уклон  $i_d$ , то вначале вычисляют относительные отметки линии 2, затем определяют поперечный уклон внешней проезжей части и далее отметки линий 3 и 4.

Пусть промежуточный поперечник  $N_i$  отгона виража расположен на расстоянии  $l_i$  от начального.

Относительная отметка внешней кромки проезжей части (линия 2) определяется исходя из дополнительного продольного уклона  $i_d$  и относительной отметки  $h_2^0$  исходного поперечника

$$h_2^i = h_2^0 + i_d \cdot l_i; \quad (2.16)$$

Относительные отметки внешней кромки укрепленной полосы (линия 3) и бровки обочины (линия 4) вычисляются исходя из поперечного уклона внешней полосы проезжей части, равного отношению разности отметок кромки проезжей части и оси к ширине полосы движения:

$$\begin{aligned} h_3^i &= h_2^i / b_1(b_1 + c); \\ h_4^i &= h_2^i / b_1(b_1 + a). \end{aligned} \quad (2.17)$$

### 2.3.2. Проектирование отгона виража при $i_b > i_n$

В случае  $i_b > i_n$  радиус круговой кривой  $R$  менее 850 м на дорогах II, III, IV категорий и менее 540 м на дорогах V категории с усовершенствованным покрытием. При радиусах 500 м и менее необходимо уширение проезжей части.

Первый и второй отгоны состоят из двух участков (рис. 2.4). На первом участке происходит переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному с уклоном  $i_n$ . На втором участке полученный односкатный профиль проезжей части путем вращения вокруг ее оси доводится до уклона  $i_b$ , соответствующего радиусу круговой кривой. Второй участок заканчивается в конце переходной кривой.

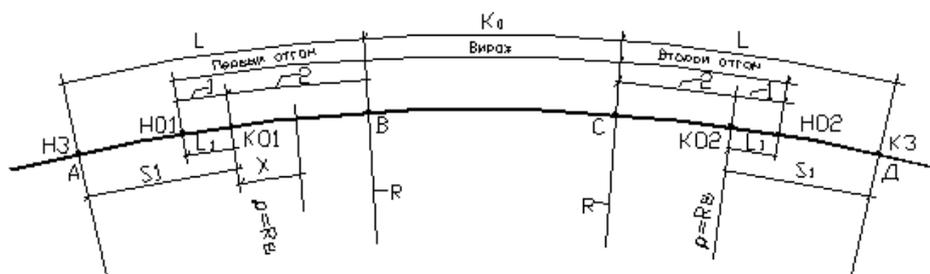


Рис. 2.4. Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае, если  $i_b > i_n$ :

- 1 – первый участок первого отгона виража; 2 – второй участок первого отгона виража;
- 3 – первый участок второго отгона виража; 4 – второй участок второго отгона виража

Начало и конец первого участка первого и второго отгонов виража определяются по формулам (2.9), (2.11) – (2.13). На отгонах виража вычисляют относительные отметки основных линий дорожного полотна (см. рис. 2.3) (кромки проезжей части, кромки укрепительных полос, бровок обочин), принимая отметки оси проезжей части равными нулю. Эти отметки вычисляют в начале и конце участков, а также на пикетах и плюсовых точках кратных 10 (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

На первом участке отгона виража относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляют по методике, приведенной в п. 2.3.1 для случая  $i_{\text{в}} = i_{\text{п}}$ .

На втором участке отгона виража дополнительный уклон внешней кромки проезжей части равен:

$$i_{\text{д2}} = b_1(i_{\text{в}} - i_{\text{п}})/L_2, \quad (2.18)$$

где  $b_1$  – ширина полосы движения;

$L_2$  – длина второго участка отгона виража, вычисляемая по формуле

$$L_2 = L - S_1,$$

где  $L$  – длина переходной кривой.

### Проектирование отгона виража при $i_{\text{в}} > i_{\text{п}}$ и радиусе круговой кривой более 500 м

В этом случае уширение проезжей части не предусматривается.

Относительные отметки конечного поперечника второго участка вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} h_1^{\text{к2}} &= 0; & h_2^{\text{к2}} &= i_{\text{в}} b_1; \\ h_3^{\text{к2}} &= i_{\text{в}} (b_1 + c); & h_4^{\text{к2}} &= i_{\text{в}} (a + b_1); \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} h_5^{\text{к2}} &= -i_{\text{в}} \cdot b_1; & h_6^{\text{к2}} &= -i_{\text{в}} (b_1 + c); \\ h_7^{\text{к2}} &= -i_0 (a + b_1). \end{aligned} \quad (2.20)$$

Относительные отметки линии 2 (см. рис. 2.3) промежуточного поперечника, расположенного на расстоянии  $x$  от начала второго участка, вычисляются следующим образом.

Вычисляется относительная отметка внешней кромки проезжей части:

$$h_2^x = h_2^{\text{к1}} + i_{\text{д2}} \cdot x, \quad (2.21)$$

где  $h_2^{\text{к1}}$  – относительная отметка внешней кромки проезжей части конечного поперечника КО1 первого участка отгона виража, определенная по формуле (2.15);

$i_{д2}$  – дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, вычисленный по формуле (2.18);

$x$  – расстояние от начала второго участка до рассматриваемого поперечника.

Относительные отметки остальных линий промежуточного поперечника вычисляют исходя из поперечного уклона проезжей части  $i_x$  и расстояния от линии 1 (ось проезжей части) до линии 3, 4, 5, 6, 7.

$$i_x = h_2^x / b_1, \quad (2.22)$$

$$h_3^x = i_x (b_1 + c);$$

$$h_4^x = i_x \cdot (a + b_1); \quad (2.23)$$

$$h_5^x = -i_x b_1; \quad h_6^x = -i_x (b_1 + c);$$

$$h_7^x = h_6^x - i_0 (a - c). \quad (2.24)$$

### **Проектирование отгона виража при $i_b > i_n$ и радиусе круговой кривой 500 м и менее**

Отгон виража состоит из двух участков. Первый участок проектируют аналогично предыдущему пункту.

Если радиус круговой кривой 500 м и менее, то предусматривается уширение проезжей части за счет внутренней обочины на величину  $e$  (см. табл. 2.4) на втором участке отгона виража.

Уширение проезжей части начинается при радиусе кривизны плана трассы, равном 500 м, на расстоянии  $S_e$  от начала переходной кривой длиной  $L$ :

$$S_e = L \cdot R / 500. \quad (2.25)$$

Положение начала отгона уширения длиной 20 м вычисляется для первого отгона по формуле

$$ПК(ОУ1) = НЗ + S_e - 20, \quad (2.26)$$

для второго отгона

$$ПК(ОУ2) = КЗ - S_e + 20. \quad (2.27)$$

Величина уширения проезжей части на участке отгона уширения вычисляется по формуле

$$e_x = y \cdot e / 20, \quad (2.28)$$

где  $y$  – расстояние от начала отгона уширения до рассматриваемого поперечника, определяемое как разность пикетного положения поперечника и начала отгона уширения.

Если  $y \geq 20$ , то принимают  $e_x = e$ .

Так как уширение проезжей части выполняется за счет внутренней обочины, то относительные отметки внешних линий 2, 3 и 4 на втором участке отгона виража вычисляют по формулам (2.19), (2.21), (2.23).

Относительные отметки внутренних линий 5, 6, 7 на участке отгона уширения и на участке уширения проезжей части в конце отгона вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} h_5^{к2} &= -i_b(b_1 + e_x); \quad h_6^{к2} = -i_b(b_1 + e_x + c); \\ h_7^{к2} &= h_6^{к2} - i_0(a - e_x - c); \end{aligned} \quad (2.29)$$

на промежуточных поперечниках – по формулам

$$h_5^x = -i_x(b_1 + e_x); \quad h_6^x = -i_x(b_1 + e_x + c); \quad h_7^x = h_6^x - i_0(a - e_x - c); \quad (2.30)$$

где  $i_x$  вычисляют по формуле (2.22).

### 2.3.3. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража двухполосных дорог

В курсовом проекте значения относительных отметок первого и второго отгонов виража сводят в таблицу 2.7.

По данным о параметрах проектной линии вычисляют проектные отметки (отметки оси проезжей части, т.е. линии 1) на целых пикетах и плюсовых точках (+10, 20, +30 и т.д.) в пределах первого и второго отгонов виража.

Абсолютные отметки кромки проезжей части (линии 2 и 5), укрепленной полосы (линии 3 и 6), бровки обочин (линии 4 и 7) получают прибавляя к проектной отметке относительные отметки этих линий. Расчет сводят в таблицу.

В пояснительной записке приводят таблицу уширения проезжей части на отгонах уширения при радиусах круговой кривой 500 м и менее.

Таблица 2.7

Участок отгона	Положение поперечника		Отметки оси проезжей части (1)	Относительные отметки					
				Внешняя			Внутренняя		
	Пикет	Плюс		кромка		бровка (4)	кромка		бровка (7)
				проезж. части (2)	укреп. полосы (3)		проезж. части (5)	укреп. полосы (6)	
<b>Первый отгон виража</b>									
первый	10	54,5	90,14	-0,07	-0,085	-0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	10	60	90,20	-0,04	-0,05	-0,08	-0,07	-0,085	-0,18
	10	70	90,30	0,01	0,01	0,01	-0,07	-0,085	-0,18
	10	80	90,40	0,06	0,07	0,11	-0,07	-0,085	-0,18
	10	82,5	90,42	0,07	0,085	0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	10	90	90,50	0,08	0,09	0,14	-0,08	-0,09	-0,18
	11	00	90,60	0,09	0,10	0,16	-0,09	-0,10	-0,19
	12	10,5	91,40	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30
второй	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Второй отгон виража</b>									
второй	13	10,5	92,40	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30
	13	20	93,50	0,17	0,20	0,31	-0,17	-0,20	-0,29
	14	30	93,60	0,08	0,09	0,14	-0,08	-0,09	-0,18
	14	38,5	93,68	0,07	0,085	0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	14	40	93,70	0,05	0,06	0,09	-0,07	-0,085	-0,18
	14	50	93,80	0,00	0,00	0,00	-0,07	-0,085	-0,18
	14	60	93,90	-0,05	-5,06	-0,10	-0,07	-0,085	-0,18
	14	66,5	93,96	-0,07	-0,085	-0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
первый	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

### 2.3.4. Примеры проектирования отгона виража

**Пример 2.1.** Дорога II технической категории расположена в Гомельской области. Закругление трассы состоит из двух переходных кривых длиной 170 м и круговой кривой радиуса 600 м длиной 100 м. Начало закругления расположено на ПК 10 + 40,50, конец закругления на ПК 14 + 80,50. Уклон виража 50‰. Проектная линия имеет уклон +10‰ с отметкой 90,00 в начале переходной кривой. Требуется вычислить отметки кромок проезжей части, укрепленных полос и бровок обочин в начале и конце отгонов виража, на плюсовых точках, кратных 10 м.

Параметры поперечного профиля дороги II технической категории приведены в таблице 1.3 ( $b_1 = 3,5$ ,  $a = 3,00$ ,  $c = 0,75$ ). Принимаем поперечный уклон проезжей части  $i_{п} = 20‰$ , обочин  $-i_0 = 40‰$ .

## Решение

Так как  $i_b > i_n$ , то отгон виража состоит из двух участков (случай, рассмотренный ранее).

На *первом участке* осуществляется переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному ( $i_n = 20\%$ ).

Длину первого участка вычисляют по формуле (2.8):

$$L_1 = 7,00 \cdot 0,020/0,005 = 28 \text{ м.}$$

По формуле (2.10) определяется расстояние  $S_1$  до точки, в которой радиус кривизны равен 2000 м.

$$S_1 = 140 \cdot 600/2000 = 42 \text{ м.}$$

По формулам (2.10) и (2.11) вычисляется пикетное положение начала первого и второго отгонов:

$$\text{ПК(НО1)} = 10 + 40,50 + 42 - 28 = 10 + 54,50;$$

$$\text{ПК(НО2)} = 14 + 80,50 - 42 + 28 = 14 + 66,50.$$

Таким образом, первый участок первого отгона располагается на протяжении от ПК 10 + 54,50 до ПК 10 + 82,50, а первый участок второго отгона на протяжении от ПК 14 + 66,50 до ПК 14 + 38,50 (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Схема к примеру 2.1:

1 – первый участок отгона виража; 2 – второй участок отгона виража

### Первый отгон виража.

Рассмотрим первый участок первого отгона виража от ПК 10 + 54,50 до ПК 10 + 82,50 и вычислим превышения линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечниках 0, 1, 2, 3, 4 в начале участка, на ПК 10 + 60, на ПК 10 + 70, на ПК 10 + 80 и ПК 10 + 82,5 относительно оси проезжей части (относительно линии 1, см. рис. 2.3). Дополнительный уклон линии 2 равен 5‰).

Исходный поперечник № 0 (ПК 10 + 54,50).

По формулам (2.12), (2.13.) вычисляются относительные отметки линий

$$h_2^0 = -0,02 \cdot 3,50 = -0,07 \text{ м}; \quad h_5^0 = -0,07 \text{ м};$$

$$h_3^0 = -0,02(3,50 + 0,75) = -0,085 \text{ м}; \quad h_5^0 = -0,085 \text{ м};$$

$$h_4^0 = -0,020 \cdot (3,50 + 3,00) = -0,13 \text{ м};$$

$$h_7^0 = -0,085 - 0,040(3,00 - 0,75) = -0,18 \text{ м}.$$

Поперечник № 1 (ПК 10+60) расположен на расстоянии 5,5 м от поперечника № 0.

Вычислим отметку линии 2 по формуле (2.16), зная ее уклон (5‰) и расстояние от предыдущего поперечника (5,5 м)

$$h_2^1 = -0,07 + 0,005 \cdot 5,5 = -0,0425.$$

Вычислим отметку линий 3 и 4 (см. рис. 2.3), исходя из поперечного уклона внешней полосы проезжей части, пользуясь формулами (2.17)

$$h_3^1 = (-0,0425 / 3,50) \cdot (3,50 + 0,75) = -0,05 \text{ м};$$

$$h_4^1 = (-0,0425 / 3,50) \cdot (3,50 + 3,00) = -0,078 = -0,08 \text{ м}.$$

Относительные отметки линий 5, 6 и 7 (внутренние кромки и бровка обочины) на первом участке отгона виража не изменяются.

Поперечник № 2 (ПК 10 + 70) от исходного поперечника (ПК 10 + 54,50) находится на расстоянии 15,5 м. По формуле (2.16) вычисляем относительную отметку кромки проезжей части, (см. рис. 2.3):

$$h_2^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 15,50 = 0,0075 \text{ м}.$$

По формулам (2.17) вычисляем отметки линий 3 и 4 (см. рис. 2.3)

$$h_3^2 = (0,0075 / 3,5) \cdot (3,5 + 0,75) = 0,009 = 0,01 \text{ м};$$

$$h_4^2 = (0,0075 / 3,5) \cdot (3,5 + 3,0) = 0,0139 = 0,01 \text{ м}.$$

Аналогичным образом вычислим относительные отметки на поперечниках № 3 (ПК 10 + 80) и № 4 (ПК 90 + 82,5)

$$h_3^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 25,5 = 0,0575 \text{ м}; \quad h_4^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 28 = 0,07 \text{ м};$$

$$h_3^3 = 0,0575 / 3,5(3,5 + 0,75) = 0,07 \text{ м};$$

$$h_4^3 = 0,0575 / 3,5(3,5 + 3,0) = 0,1068 = 0,11 \text{ м};$$

$$h_3^4 = 0,07 / 3,5 \cdot (3,5 + 0,75) = 0,085 \text{ м}; \quad h_4^4 = 0,07 / 3,5(3,5 + 3,0) = 0,13 \text{ м}.$$

Для контроля вычислим относительные отметки линий 2, 3 и 4 по формуле (2.14)

$$h_2^4 = 0,02 \cdot 3,5 = 0,07 \text{ м}; \quad h_3^4 = 0,02 \cdot (3,5 + 0,75) = 0,085 \text{ м};$$

$$h_4^4 = 0,02 (3,5 + 3,0) = 0,13 \text{ м}.$$

Рассмотрим второй участок первого отгона виража (от ПК10 + 82,50 до ПК12 + 10,50) протяжением 128 м. На нем односкатный поперечный профиль проезжей части вращением вокруг оси дороги доводится до уклона виража 50%. Вычислим дополнительный уклон внешней кромки проезжей части по формуле (2.18)

$$i_2 = 0,5 \cdot 7,0 \cdot (0,050 - 0,020) / 128 = 0,00082.$$

Необходимо определить относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 (см. рис. 2.3) на поперечниках № 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, расположенных соответственно на пикетах 10 + 90; 11 + 00; 11 + 20; 11 + 30; 11 + 40; 11 + 50; 11 + 60; 11 + 70; 11 + 80; 11 + 90; 12 + 00; 12 + 10; 12 + 10,50.

Поперечник № 5 (ПК10 + 90) расположен на расстоянии 7,50 м от конца первого участка отгона виража. По формуле (2.21) вычислим относительную отметку линии 2 (внешней кромки проезжей части) и по формулам (2.23), (2.24) – линий 3, 4, 5, 6, 7

$$h_2^5 = 0,07 + 0,00082 \cdot 7,5 = 0,076 \text{ м}; \quad h_5^5 = -h_2^5 = -0,07 \text{ м};$$

$$h_3^5 = (0,076 / 3,50) \cdot (3,5 + 0,75) = 0,0922 = 0,09 \text{ м}; \quad h_6^5 = -0,09 \text{ м};$$

$$h_4^5 = (0,076 / 3,50) \cdot (3,50 + 3,0) = 0,14 \text{ м};$$

$$h_7^5 = -0,09 - 0,04 \cdot (3,0 - 0,75) = -0,18 \text{ м}.$$

Поперечник № 6 (ПК11 + 00) расположен на расстоянии 17,5 м от начала второго участка

$$h_2^6 = 0,07 + 0,00082 \cdot 17,5 = 0,0844 \text{ м}; \quad h_5^6 = -h_2^6 = -0,08 \text{ м};$$

$$h_3^6 = 0,0844 / 3,5 \cdot (3,5 + 0,75) = 0,10 \text{ м}; \quad h_6^6 = -0,10 \text{ м};$$

$$h_4^6 = (0,0844 / 3,5) \cdot (3,5 + 3,0) = 0,16 \text{ м};$$

$$h_7^6 = -0,10 - 0,04(3,0 - 0,75) = 0,19 \text{ м}.$$

Аналогичным образом вычисляем относительные отметки на остальных поперечниках. На последнем поперечнике № 17 (ПК12 + 10,5) для контроля вычисляем относительные отметки также по формуле (2.19)

$$h_2^{17} = -0,05 \cdot 3,5 = 0,175 \text{ м}; \quad h_5^{17} = -0,175 \text{ м};$$

$$h_3^{17} = 0,05 \cdot 4,25 = 0,21 \text{ м}; \quad h_6^{17} = -0,21 \text{ м};$$

$$h_4^{17} = 0,05 \cdot 6,5 = 0,315 = 0,32 \text{ м};$$

$$h_7^{17} = -0,21 - 0,04(3,0 - 0,75) = -0,30 \text{ м}.$$

### **Второй отгон виража.**

На первом участке второго отгона виража (от ПК14 + 66,50 до ПК14 + 66,50) рассмотрим поперечники № 0 (ПК14 + 66,50), № 1 (ПК14 + 60), № 2 (ПК14 + 50), № 3 (ПК14 + 40) и № 4 (ПК14 + 38,50) (см. рис. 2.5).

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 (см. рис. 2.5) на начальном поперечнике № 0 (ПК14 + 66,5) и конечном № 4 (ПК14 + 38,5) равны относительным отметкам этих линий первого участка первого отгона виража на поперечниках № 0 (ПК10 + 54,5) и № 4 (ПК10 + 82,5). Относительные отметки линий 2 вычислим по формуле (2.16), принимая  $l_i$  равным 3,5 м для поперечника № 1, 13,5 м для поперечника № 2 и 23,5 м для поперечника №3. По формулам (2.17) определим отметки линий 3 и 4 на поперечниках № 1, 2 и 3

$$h_2^1 = -0,07 + 0,005 \cdot 3,5 = -0,0525 \text{ м};$$

$$h_2^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 13,5 = -0,0025 \text{ м};$$

$$h_2^3 = -0,07 + 0,005 \cdot 23,5 = 0,0475 \text{ м};$$

$$h_2^4 = -0,07 + 0,005 \cdot 28 = 0,07 \text{ м};$$

$$h_3^1 = (-0,0525 / 3,5) \cdot 4,25 = -0,06375 \text{ м};$$

$$h_4^1 = (-0,0525 / 3,5) \cdot 6,5 = -0,0975 = -0,10 \text{ м};$$

$$h_3^2 = (-0,0025 / 3,5) \cdot 4,25 = -0,003 = 0,00 \text{ м};$$

$$h_4^2 = (-0,0025 / 3,5) \cdot 6,5 = -0,0046 = 0,00 \text{ м};$$

$$h_3^3 = (0,0475 / 3,5) \cdot 4,25 = 0,0576 \text{ м} = 0,06 \text{ м};$$

$$h_4^3 = (0,0475 / 3,5) \cdot 6,5 = 0,088 = 0,09 \text{ м};$$

$$h_3^4 = (0,07 / 3,5) \cdot 4,25 = 0,085 \text{ м};$$

$$h_4^4 = (0,07 / 3,5) \cdot 6,5 = 0,13 \text{ м}.$$

Второй участок второго отгона виража (см. рис 2.5) протяжением 128 м (от ПК14 + 38,50 до ПК13 + 10,50) имеет дополнительный уклон внешней кромки 0,00082 аналогично второму участку первого отгона.

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 на поперечниках № 5 – 17, расположенных на пикетах 14 + 38,5 – 13 + 10,5, вычислим по формулам (2.21), (2.23), (2.24).

Поперечник № 5 (ПК14 + 30) расположен на расстоянии 8,5 м от начала второго участка второго отгона

$$h_2^5 = 0,07 + 0,00082 \cdot 8,5 = 0,07697 \text{ м}; \quad h_5^5 = -0,08 \text{ м};$$

$$h_3^5 = (0,07697 / 3,5) \cdot 4,25 = 0,09 \text{ м}; \quad h_6^5 = -0,09 \text{ м};$$

$$h_4^5 = (0,07697 / 3,5) \cdot 6,5 = 0,14 \text{ м};$$

$$h_7^5 = -0,09 - 0,04 \cdot 2,25 = -0,18 \text{ м}.$$

Данные о значении относительных отметок первого и второго отгонов виража сводим в таблице 2.7, пропуская значения для ряда поперечников на втором участке первого и второго отгонов виража.

Вычисляем абсолютные отметки оси дороги, зная параметры проектной линии. В нашем случае проектная отметка в начале закругления (ПК10 + 40,5) равна 90,00. Проектная линия имеет продольный уклон 10%. По этим данным абсолютные отметки оси проезжей части приведены в таблице 2.7, графа 4.

Абсолютные отметки кромок проезжей части, укрепленной полосы, бровки обочины получают, прибавляя к отметке оси проезжей части относительные отметки этих линий. Вычислим для примера абсолютные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечнике № 6, расположенном на пикете 11 + 00

$$H_2^6 = 90,60 + 0,09 = 90,69 \text{ м}; \quad H_3^6 = 90,60 + 0,10 = 90,70 \text{ м};$$

$$H_4^6 = 90,60 + 0,16 = 90,76 \text{ м}; \quad H_5^6 = 90,60 + (-0,09) = 90,51 \text{ м};$$

$$H_6^6 = 90,60 - 0,10 = 90,50 \text{ м}; \quad H_7^6 = 90,60 - 0,19 = 90,41 \text{ м}.$$

По результатам вычисления абсолютных отметок линий 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 (см. рис. 2.4) составляется таблица 2.8 их значений.

Таблица 2.8

Положение поперечника		Отметки линий, м						
		Ось	внешняя			внутренняя		
			кромка		бровка	кромка		бровка
ПК	+	проезж. части	укреп. полосы	проезж. части		укреп. полосы		
...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	00	90,60	90,69	90,70	90,76	90,51	90,50	90,41
...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Пример 2.2.** Дорога IV технической категории расположена в Витебской области. Закругление состоит из двух переходных кривых длиной по 140 м и круговой кривой радиуса 400 м длиной 100 м. Виразж имеет уклон 40‰ (предельный для Витебской области). Начало закругления на пикете 10 + 35, конец закругления на пикете 14 + 15. Предусмотрено уширение проезжей части на 0,50 м.

Необходимо вычислить относительные отметки на участке уширения проезжей части.

### Решение

Принимаем данные о поперечном профиле по таблице 1.3. Так как  $i_v > i_{п.}$ , то отгон виража (первый и второй) состоит из двух участков.

Первый участок.

По формуле (2.10) находим

$$S_1 = 140 \cdot 400/2000 = 28 \text{ м.}$$

По формуле (2.8) определяем протяжение первого участка отгонов виража

$$L_1 = 6,0 \cdot 0,02/0,05 = 24 \text{ м.}$$

Начало первого участка первого и второго отгонов вычислим по формулам (2.9), (2.11)

$$\text{ПК (НО1)} = 10 + 35 + 28 - 24 = 10 + 39;$$

$$\text{ПК (НО2)} = 14 + 15 - 28 + 24 = 14 + 11.$$

Конец первого участка отгонов (см. рис. 2.4)

$$\text{ПК (КО1)} = (10 + 35) + 28 = 10 + 63;$$

$$\text{ПК (КО2)} = (14 + 15) - 28 = 13 + 87.$$

На первом участке радиусы кривизны трассы превышают или равны 2000 м и уширение проезжей части не производится. Относительные отметки кромок и бровок определяются аналогично примеру 2.1.

Второй участок первого отгона заканчивается в конце переходной кривой на пикете 11 + 75, второй участок второго отгона виража заканчивается на пикете 12 + 75. Уширение проезжей части начинается на расстоянии  $S_e$  от начала переходной кривой, которое вычисляется по формуле (2.25)

$$S_e = 140 \cdot 400/500 = 112 \text{ м.}$$

Положение начала отгона уширения длиной 20 м для первого отгона виража вычислим по формуле (2.26), а для второго – по формуле (2.27)

$$\text{ПК (ОУ1)} = (10 + 35) + 112 - 20 = 11 + 27;$$

$$\text{ПК (ОУ2)} = (14 + 15) - 112 + 20 = 13 + 23.$$

Следовательно, на втором участке первого отгона от ПК 11 + 27 до ПК 11 + 47 происходит отгон уширения, увеличивается ширина внутренней полосы движения, а ширина внутренней обочины уменьшается на величину  $e_x$ , определяемую по формуле (2.28).

Поперечник на пикете 11 + 30 расположен на расстоянии 3 м от начала отгона уширения.

Уширение

$$e_{30} = 3 \cdot 0,5/20 = 0,075 = 0,08 \text{ м.}$$

Поперечник на пикете 11 + 40

$$e_{40} = 13 \cdot 0,5/20 = 0,32 \text{ м.}$$

На последующих поперечниках второго участка первого отгона виража (ПК 11 + 40, ПК 11 + 50, ПК 11 + 60, ПК 11 + 70 и ПК 11 + 75) уширение проезжей части постоянно и равно 0,50 м.

На втором участке второго отгона виража от ПК 13 + 23 до ПК 13 + 03 происходит отгон уширения. Вычислим величину уширения на поперечниках, пикетное положение которых кратно 10 м

$$\text{ПК } 13 + 20 \quad e_{20} = 3 \cdot 0,5/20 = 0,08 \text{ м};$$

$$\text{ПК } 13 + 10 \quad e_{10} = 13 \cdot 0,5/20 = 0,32 \text{ м}.$$

На последующих поперечниках второго участка второго отгона виража (ПК 13 + 00, ПК 12 + 90, ПК 12 + 80, ПК 12 + 75) уширение  $e_x = 0,50$  м.

На втором участке отгона виража до начала отгона уширения относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляются по формулам (2.21), (2.23), (2.24).

В качестве примера вычислим относительные отметки этих линий на поперечнике № X (ПК 11 + 20), расположенном на расстоянии 57 м от начала второго участка (ПК 10 + 63). Дополнительный уклон внешней кромки проезжей части на втором участке отгона виража длиной 112 м определим по формуле (2.18).

Относительная отметка внешней кромки проезжей части в конце первого участка (односкатный поперечный профиль с уклоном  $i = 20\%$ ) и в конце второго участком ( $i_b = 40\%$ ) вычисляется по формулам (2.15)

$$h_2^{k1} = 0,02 \cdot 3,0 = 0,06 \text{ м};$$

$$h_2^{k2} = 0,04 \cdot 3,0 = 0,12 \text{ м}.$$

Дополнительный уклон внешней кромки 2

$$i_2 = (0,12 - 0,06)/112 = 0,06/112.$$

Отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляем по формулам (2.21), (2.23), (2.24)

$$h_2^x = 0,06 + (0,06 / 112) \cdot 57 = 0,09 \text{ м};$$

$$h_3^x = (0,09 / 3,0) \cdot 3,5 = 0,105 = 0,11 \text{ м};$$

$$h_4^x = (90,09 / 3,0) \cdot 5,0 = 0,15 \text{ м}; \quad h_5^x = -0,11 \text{ м};$$

$$h_6^x = -0,15 \text{ м}; \quad h_7^x = -0,15 - 0,04(2,0 - 0,5) = -0,21 \text{ м}.$$

На втором участке первого отгона виража протяжением от ПК 11 + 27 до 11 + 75 (рис. 2.6) относительные отметки линий 2, 3, 4 вычисляются аналогичным образом по формулам (2.21), (2.23), (2.24) – (2.30), а линий 5, 6, 7 (см. рис. 2.3) с учетом уширения проезжей части по формулам (2.29), (2.30).

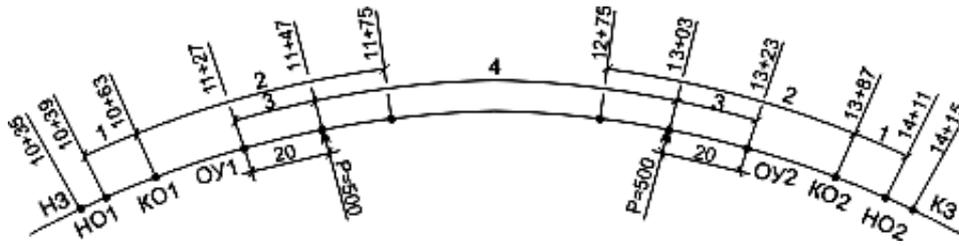


Рис. 2.6. Схема к проектированию отгона (пример 2.2):  
 1, 2 – первый и второй отгоны виража;  
 3 – отгон уширения; 4 – уширение проезжей части

Поперечник №  $n$  (ПК 11 + 40) расположен на расстоянии 77 м от начала второго участка (ПК 10 + 63) первого отгона виража (см. рис. 2.6). Уширение проезжей части вычислено ранее и равно 0,32 м.

$$h_2^n = 0,06 + 0,06 \cdot 77 / 112 = 0,101 \text{ м};$$

$$h_3^n = (0,101 / 3,0) \cdot 3,5 = 0,12 \text{ м}; \quad h_4^n = 0,101 / 3,0 \cdot 5,0 = 0,17 \text{ м};$$

$$h_5^n = (-0,101 / 3,0) \cdot (3,0 + 0,32) = -0,14 \text{ м};$$

$$h_6^n = (-0,101 / 3,0) \cdot (3 + 0,32 + 0,5) = -0,13 \text{ м};$$

$$h_7^n = -0,13 - 0,04(2,0 - 0,5 - 0,32) = -0,18 \text{ м}.$$

Аналогичным образом вычисляются относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на втором участке второго отгона (ПК 13 + 87 – ПК 12 + 75). Отгон уширения начинается на ПК 13 + 23, заканчивается на ПК 13 + 03. Вычислим отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечнике №  $m$  (ПК 12 + 80), расположенном на расстоянии 107 м от начала второго участка (ПК 13 + 87 – ПК 12 + 80 = 107 м). Дополнительный уклон внешней кромки проезжей части равен 0,06/112

$$h_2^m = 0,06 + 107 \cdot 0,06 / 112 = 0,117 = 0,12 \text{ м};$$

$$h_3^m = (0,117 / 3) \cdot 3,5 = 0,14 \text{ м}; \quad h_4^m = (0,117 / 3) \cdot 5 = 0,20 \text{ м};$$

$$h_5^m = (-0,117 / 3(3 + 0,5)) = -0,14 \text{ м};$$

$$h_6^m = (-0,117 / 3) \cdot (3 + 0,5 + 0,5) = -0,16 \text{ м};$$

$$h_7^m = -0,16 - 0,04(2,0 - 0,5 - 0,5) = -0,20 \text{ м}.$$

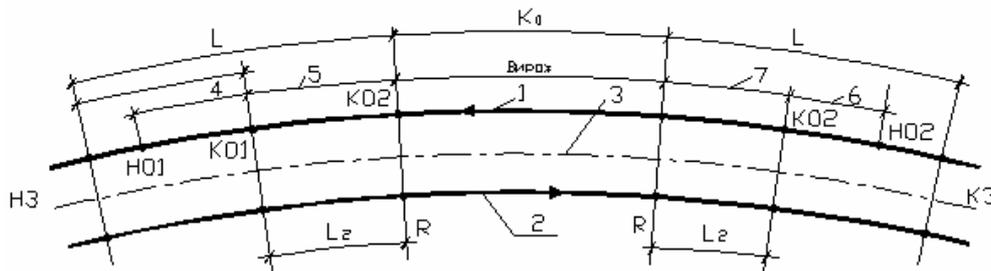
Отгон уширения проезжей части на первом отгоне виража начинается на пикете 11 + 27 и заканчивается на пикете 11 + 47. Отгон уширения проезжей части на втором отгоне виража начинается на пикете 13 + 23 и заканчивается на пикете 13 + 03. Данные о величинах уширения на участках отгонов приводим в виде таблицы 2.9.

Таблица 2.9

Первый отгон виража		Второй отгон виража	
Пикетное положение	Уширение, м	Пикетное положение	Уширение, м
11 + 20	0,00	12 + 75	0,50
11 + 27	0,00	13 + 03	0,50
11 + 30	0,08	13 + 10	0,32
11 + 40	0,32	13 + 20	0,08
11 + 47	0,50	13 + 25	0,00
11 + 50	0,50	13 + 30	0,00

## 2.4. Проектирование отгона виража на дорогах I категории

Отгон виража осуществляют путем вращения внешней проезжей части вокруг ее оси до получения уклонов  $i_b = i_{\pi}$  ( $i_{\pi} = 25\%$ ). Если уклон виража  $i_b > i_{\pi}$ , то внешнюю и внутреннюю проезжие части вращают вокруг их осей до уклона  $i_{\pi}$  (рис. 2.7).

Рис. 2.7. Схема виража на дороге I категории при  $i_b > i_{\pi}$ 

### 2.4.1. Проектирование отгона виража внешней проезжей части

При проектировании отгона виража внешней проезжей части возможны случаи, когда  $i_b = i_{\pi}$  и  $i_b > i_{\pi}$ .

#### Проектирование отгона виража внешней проезжей части при $i_b = i_{\pi} = 0,025$

Этот случай будет при радиусах горизонтальных кривых от 3000 до 1330 м на дороге категории I-а и при радиусах от 2000 до 850 м на дорогах категории I-б и I-в. На внутренней проезжей части поперечный уклон  $i_{\pi} = 0,025$  не изменяется. Внешняя проезжая часть имеет очертания в соответствии с рисунком 2.8.

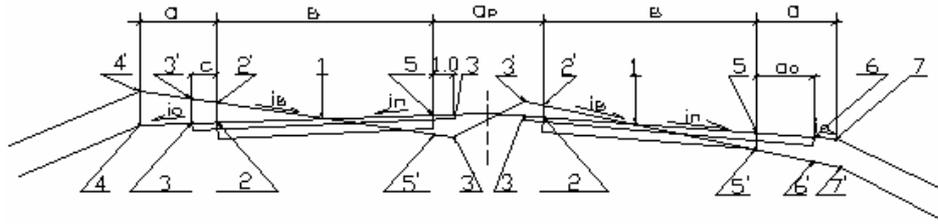


Рис. 2.8. Схема виража внешней проезжей части при  $i_b = i_n$ :

1 – ось внешней проезжей части; 2, 5 – внешняя и внутренняя кромки внешней проезжей части; 3 – кромка укрепленной полосы; 4 – бровка внешней обочины; 6 – кромка внутренней укрепленной полосы со стороны разделительной полосы

В случае  $i_b = i_n$  на внешней проезжей части проектируют два отгона виража: первый отгон виража предусматривают в начале, а второй – в конце закругления, аналогично как и на двухполосных дорогах при  $i_b = i_n$  (см. рис. 2.2).

Длину отгона виража  $L_1$  определяют по формуле (2.8), принимая значение  $b$  равным ширине проезжей части одного направления (см. рис. 2.8).

Отгон виража заканчивается на расстоянии  $S_1$  от начала (конца) закругления, определяемого по формуле (2.10), при этом принимаем  $\rho = 3000$  для дороги категории I-а и  $2000$  м – для дороги категории I-б и I-в.

Пикетное положение начала первого отгона виража НО1 и второго НО2 (рис. 2.2) определяется по формулам (2.9) и (2.11). Пикетное положение конца первого и второго отгона виража (начала виража) вычисляют по формулам (2.12), (2.13).

Относительные отметки линий 2, 3, 4 вычисляют по формулам (2.14) – (2.17). Значение внутренней укрепленной полосы со стороны разделительной полосы  $C_p = 1,0$  м (см. рис. 2.8).

Значения относительных отметок линий 5 и 6 по модулю равны значениям относительных отметок линий 3 и 4 и имеют знак «минус».

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5 и 6 вычисляют в начале и конце отгонов, на пикете и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

### Проектирование отгона виража внешней проезжей части при $i_b > i_n$

На дорогах I категории радиусы круговых кривых превышают  $500$  м. Уширение проезжей части не предусматривается.

В случае  $i_b > i_n$  первый и второй отгоны состоят из двух участков (см. рис. 2.7).

На первом участке отгона происходит переход от односкатного поперечного профиля проезжей части с уклоном  $i_{\text{п}} = 0,025$  во внешнюю сторону закругления (см. рис. 2.8) к односкатному поперечному профилю с уклоном  $i_{\text{п}} = 0,025$  во внутреннюю сторону закругления.

На втором участке полученный односкатный профиль проезжей части путем вращения ее вокруг оси на оставшейся части переходной кривой доводится до уклона  $i_{\text{в}}$  (см. рис. 2.5), соответствующего радиусу круговой кривой (см. табл. 2.6).

Проектирование первого участка первого и второго отгонов виража выполняют по методике, изложенной в п. 2.3.1 для случая  $i_{\text{в}} = i_{\text{п}}$ .

На втором участке отгона виража вычисляют дополнительный уклон внешней кромки внешней проезжей части (см. рис. 2.8) по формуле (2.18), принимая значение  $b$  равным ширине внешней проезжей части.

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5 и 6 конечного поперечника второго участка и промежуточных поперечников на целых пикетах и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90) вычисляют по формулам (2.19) – (2.24).

#### **2.4.2. Проектирование отгона виража внутренней проезжей части ( $i_{\text{в}} > i_{\text{п}}$ )**

Внутренняя проезжая часть изменяет поперечный профиль при  $i_{\text{в}} > i_{\text{п}}$ . Так как в начале (конце) закругления поперечный уклон внутренней проезжей части  $i_{\text{п}} = 0,025$  в сторону центра кривой, то переход от  $i_{\text{п}}$  к  $i_{\text{в}}$  начинается на расстоянии  $S_1$  от начала (конца) закругления. Величина  $S_1$  определяется по формуле (2.10).

Пикетное положение начала и конца отгонов виража внутренней проезжей части (см. рис. 2.7) определяется по формулам

$$\text{НО1} = \text{НЗ} + S_1;$$

$$\text{КО1} = \text{НЗ} + L;$$

$$\text{НО2} = \text{КЗ} - S_1;$$

$$\text{КО2} = \text{КЗ} - L.$$

Вначале вычисляются отметки внешней кромки проезжей части (линии 2' на рис. 2.8) на целых пикетах и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90):

$$h_{2'}^x = h_{2'}^{\text{н}} + i_{\text{д}} \cdot x,$$

где  $h_{2'}^{\text{н}}$  – отметка линии 2' в начале отгона виража;

$i_d$  – дополнительный уклон линии 2’;

$x$  – расстояние от начала отгона до рассматриваемого поперечника.

Дополнительный уклон  $i_d$  внешней кромки внутренней проезжей части (линии 2’ на рис. 2.8) определяют по формуле (2.18).

Относительные отметки линий 2’, 3’, 5’, 6’ и 7’ начального поперечника отгона выража вычисляют по формулам (см. рис. 2.8)

$$h_{2'}^H = 0,5i_{\Pi} \cdot b; \quad h_{3'}^H = i_{\Pi} \cdot (0,5b + 0,5); \quad h_{5'}^H = -h_{2'}^H; \quad (2.31)$$

$$h_{6'}^H = -i_{\Pi} \cdot (0,5b + a_0); \quad h_{7'}^H = -i_{\Pi} \cdot (0,5b + a_0) - 0,040(a - a_0), \quad (2.32)$$

где  $b$  – ширина внутренней проезжей части;

$a_0$  – ширина остановочной полосы в случае дороги категории I-а ( $a_0 = 2,5$  м) или ширина укрепленной полосы в случае дороги категорий I-б и I-в;

$a$  – ширина обочины (см. табл. 1.3).

Относительные отметки линий 2’, 3’, 5’, 6’ и 7’ конечного участка отгона выража вычисляют по формулам (2.31), (2.32), принимая вместо  $i_{\Pi}$  значение  $i_B$ .

Относительные отметки линии 2’ (см. рис. 2.8) промежуточного поперечника, расположенного на расстоянии  $x$  от начала отгона выража, вычисляются по формуле (2.21).

Далее вычисляют поперечный уклон внутренней проезжей части:

$$i_x = 2h_{2'}^x/b,$$

где  $b$  – ширина внутренней проезжей части дороги I категории.

Относительные отметки линий 3’, 5’, 7’ (см. рис. 2.8) на целых пикетах и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90) вычисляют по формулам

$$h_{3'}^x = i_x(0,5b + 0,5); \quad h_{5'}^x = -h_{2'}^x;$$
$$h_{6'}^x = -i_x(0,5b + a_0); \quad h_{7'}^x = h_{6'}^x - 0,040(a - a_0),$$

### 2.4.3. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов выража на дорогах I категории

Этот раздел выполняется в соответствии с п. 2.3.3.

Таблицы относительных и абсолютных отметок отгонов выража составляют отдельно для внешней и внутренней проезжей части.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Проект участка автомобильной дороги включает в себя проектирование плана и продольного профиля дороги, поперечных профилей земляного полотна и проезжей части.

#### 3.1. План трассы автомобильной дороги

Проектирование плана трассы включает:

- 1) выяснение контрольных точек и препятствий трассированию;
- 2) проложение вариантов плана трассы;
- 3) подбор радиусов и длин переходных кривых закруглений;
- 4) пикетаж и составление ведомости углов поворота, прямых и кривых;
- 5) разработка чертежа «План трассы».

В курсовом проекте исходной информацией для проектирования плана трассы являются карта местности масштабом 1:25000 или 1:10000, начальный и конечный пункты и направления входа в них, препятствия трассированию.

С целью детальной проработки вариантов трассы и продольного профиля масштаб карты изменяют на 1 : 5000.

Перед проложением трассы выясняют препятствия трассированию и контрольные точки. Препятствиями являются озера, населенные пункты, запретные зоны, заштрихованные на выданной карте. Контрольными точками могут быть места пересечения с железными и автомобильными дорогами, реками.

Автомобильные дороги I – III категорий пересекаются с железными дорогами в разных уровнях всегда, а дороги IV категории – в отдельных случаях (в курсовом проекте их пересечение можно принимать в одном уровне). При этом острый угол пересекающихся дорог должен быть не менее 60°.

Автомобильные дороги категории I-а пересекаются в разных уровнях с дорогами I – V категорий, дороги I-б, II категории – с дорогами I, II, III категорий, дороги III категории – с дорогами III категории при интенсивности движения в узле более 8000 приведенных автомобилей в сутки. Пересечение дорог в одном уровне выполняется под прямым или близким к прямому углом.

### 3.1.1. Положение вариантов плана трассы

В курсовом проекте рассматривают два варианта плана трассы. Варианты плана трассы рекомендуется проектировать методом упругой линии с помощью гибкой линейки с учетом контрольных точек и препятствий.

Полученное криволинейное очертание плана трассы представляет собой ее примерное положение (предварительный вариант). Для обеспечения возможности выноски этой трассы на местность кривую заменяют ломаной прямой (рис. 3.1).

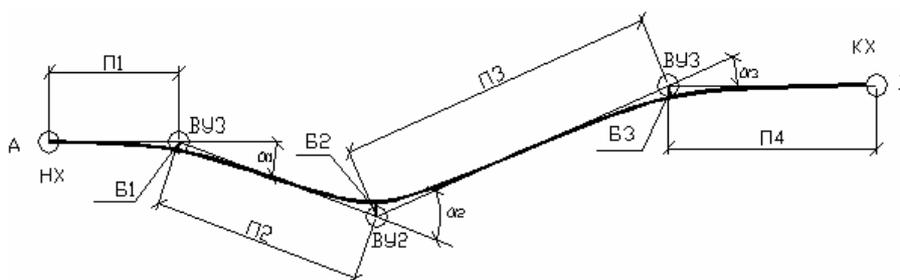


Рис. 3.1. Схема замены криволинейного плана трассы ломаным очертанием

После этого измеряют углы поворота трассы ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) в местах изменения направления прямых, расстояние между вершинами углов ( $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$ ), расстояние от начала (точка А) и конца (точка В) участка трассы до ближайших вершин углов, а также биссектрисы закруглений  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ .

### 3.1.2. Подбор радиусов круговых и длин переходных кривых закруглений

Закругления вписывают в углы поворота таким образом, чтобы новое положение трассы примерно соответствовало положению предварительного ее варианта, выдерживались нормативы плана трассы (радиусы и длины переходных кривых и прямых вставок), не было накладки соседних закруглений.

Радиус кривых назначают, как правило, не менее рекомендуемого. Если его невозможно вписать, то целесообразно изменить положение вершины угла с целью снятия ограничения, вынудившего уменьшать радиус. Если такое изменение положения вершины угла невозможно, то принимают радиус ниже рекомендуемого. Мотивы, вызывающие необходимость применения радиусов менее рекомендуемых, приводятся в пояснительной записке. Минимальное значение радиуса горизонтальной кривой следует назначать на категорию выше проектируемой. Это позволит в будущем без изменения плана осуществить реконструкцию дороги в более высокую категорию.

Ориентировочные радиусы закруглений определяют по величине биссектрисы  $B_i$  и угла поворота  $\alpha_i$ :

$$R_{Bi} = B_i / [\text{Sec}(\alpha / 2) - 1]. \quad (3.1)$$

Если хотя бы один из полученных по формуле (3.1) радиусов меньше минимального, то следует изменить план трассы с целью уменьшения  $\alpha_i$ , увеличения  $B_i$  и повторно вычислить  $R_{Bi}$  по формуле (3.1).

Длины переходных кривых на закруглениях с радиусами менее рекомендуемых назначают в соответствии с таблицей 2.1. Вычисляют ориентировочные тангенсы круговых кривых, принимая сдвигку  $p = 0$ :

$$T_i = R_i \cdot \text{tg}(\alpha_i / 2).$$

Смещение начала закругления принимают равным  $t_i = 0,5 L_i$ .

Проверяют достаточность длин прямых  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$  (см. рис. 3.1) для размещения общих тангенсов  $T_i + t_i$ . Так, крайние прямые  $\Pi_1, \Pi_4$  должны быть не меньше общего тангенса крайних закруглений, а промежуточные  $\Pi_2, \Pi_3$  – суммы общих тангенсов соседних закруглений.

Если, например,  $\Pi_3 < (T_2 + t_2) + (T_3 + t_3)$ , то необходимо так уменьшить радиус второго или третьего закругления, чтобы он был не меньше минимального, определить новые значения общих тангенсов и проверить условие:

$$\Pi_3 \geq (T_2 + t_2) + (T_3 + t_3).$$

### 3.1.3. Пикетаж и составление ведомости прямых и кривых

Пикетаж включает нанесение пикетов и плюсовых точек на трассе с помощью измерителя и установление пикетного положения вершин углов поворота. В курсовом проекте начало НХ принимают равным нулю.

Пикетное положение вычисляется (см. рис. 3.1)

$$\text{первой вершины ВУ1} = \text{НХ} + \Pi_1; \quad (3.2)$$

$$\text{второй вершины ВУ2} = \text{ВУ1} + \Pi_2 - D_1; \quad (3.3)$$

$$\text{конец хода КХ} = \sum \Pi_i - \sum D_i. \quad (3.4)$$

В формулах (3.2) – (3.4) длины участков ломаной трассы измеряются по карте, а домер  $D$  вычисляется по формуле (2.6). На каждом закруглении при известных значениях  $a, R, L$  вычисляют остальные элементы закругления с точностью до 0,01 м (см. раздел 2.1), пикетные положения основных точек закругления (см. раздел 2.1) определяют длины оставшихся прямых участков трассы и их румбы.

**Румб** (магнитный или истинный) – острый угол между ближайшим концом меридиана (магнитного или истинного) и направлением прямой. В курсовом проекте вычисляют магнитный румб. Для этого с помощью карты местности сначала определяется дирекционный угол ДУ1 прямой П<sub>1</sub>. **Дирекционный угол** – угол между вертикальной линией 1 километровой сетки карты и направлением прямой. Так, для прямой ВУ1 – ВУ2 дирекционный угол равен ДУ1 (рис. 3.2).

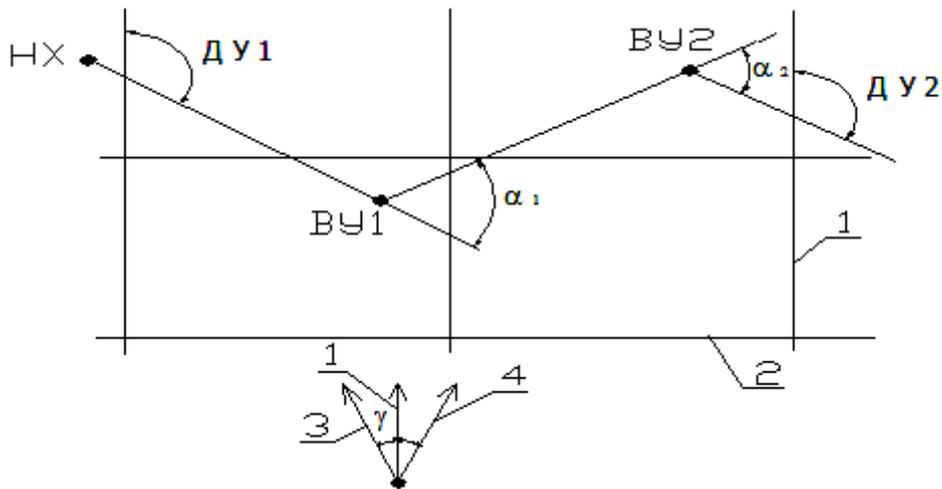


Рис. 3.2. Схема к вычислению дирекционного угла и азимута:

- 1 – вертикальная линия километровой сетки на карте; 2 – нижний край карты;
- 3 – направление магнитного меридиана; 4 – направление истинного меридиана

Далее в курсовом проекте вычисляют магнитный азимут

$$A_1 = \text{ДУ}1 \pm \gamma, \quad (3.5)$$

где  $\gamma$  – угол между вертикальной линией сетки карты и магнитным меридианом (см. рис. 3.2), указан внизу карты местности.

Знак «+» в формуле (3.5) принимают, если линия 3 (см. рис. 3.2) отклоняется от линии 1 влево, знак «-» – вправо.

По полученной величине азимута  $A_1$  вычисляют значение магнитных азимутов и румбов остальных линий. Так, азимут линии П<sub>2</sub> будет равен:

$$A_2 = A_1 \pm \alpha_1. \quad (3.6)$$

В формуле (3.6) знак «+» принимают, если трасса поворачивает вправо на угол  $\alpha$ , и знак «-», если она поворачивает влево на угол  $\alpha$ .

По величине азимутов  $A$  вычисляют румбы линии:

если  $0 \leq A \leq 90$ , то румб равен СВ :  $A$ ;

если  $90 < A \leq 180$ , то румб ЮВ :  $(180 - A)$ ;

если  $180 < A \leq 270$ , то румб ЮЗ :  $(A - 180)$ ;

если  $270 < A \leq 360$ , то румб СЗ :  $(360 - A)$ .

Далее составляется ведомость углов поворота, прямых и кривых. Форма такой ведомости приведена в таблицах 3.1.1, 3.1.2.

Таблица 3.1.1

<i>a</i>		ВУ		<i>R</i>	<i>T</i>	К	Б	Д	<i>L</i>	<i>t</i>	$\beta$	Р	$K_0$
лево	право	ПК	+										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица 3.1.2

НЗ		НKK (НПК)		ККК (НПК)		КЗ		Длина прямой	Румб
ПК	+	ПК	+	ПК	+	ПК	+		
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

В первой строке в графе 1 ставят НХ (начало хода) и его пикетное положение (гр. 4, 5), в последней строке – аналогично КХ (конец хода). В промежуточных строках приводят данные по каждому закруглению. Если есть переходная кривая, то графа 8 не заполняется. При отсутствии переходной кривой не заполняются графы 11 – 15 и 18 – 21. Суммируют столбцы 7, 10, 11, 12, и 15, получают  $\Sigma T$ ,  $\Sigma K$ ,  $\Sigma D$ ,  $\Sigma L$ ,  $\Sigma t$ ,  $\Sigma K_0$ .

Правильность составления ведомости прямых и кривых проверяют: по длине трассы

$$КХ - НХ = \Sigma П + \Sigma K + \Sigma K_0 + 2\Sigma L;$$

по домерам

$$2(\Sigma T + \Sigma t) - (\Sigma K + 2\Sigma L + \Sigma K_0) = \Sigma D.$$

### 3.1.4. Составление чертежа «План трассы»

На основе электронной карты местности, вычерчивается ситуация. На ватмане формата А2 наносится ломаная трасса по вариантам, вписываются закругления на основе ведомости углов поворота, прямых и кривых. На каждом закруглении приводятся основные его параметры (рис. 3.3).

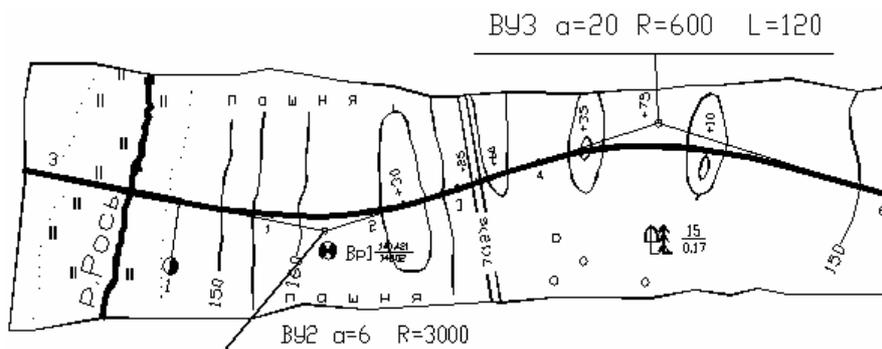


Рис. 3.3. Фрагмент оформления чертежа «План трассы»

На чертеже обозначают номера вариантов, пикеты и километры, показывают направление «север – юг».

На плане трассы обозначают номера вершин углов поворота, данные каждого закругления ( $\alpha$ ,  $R$ ,  $L$ ).

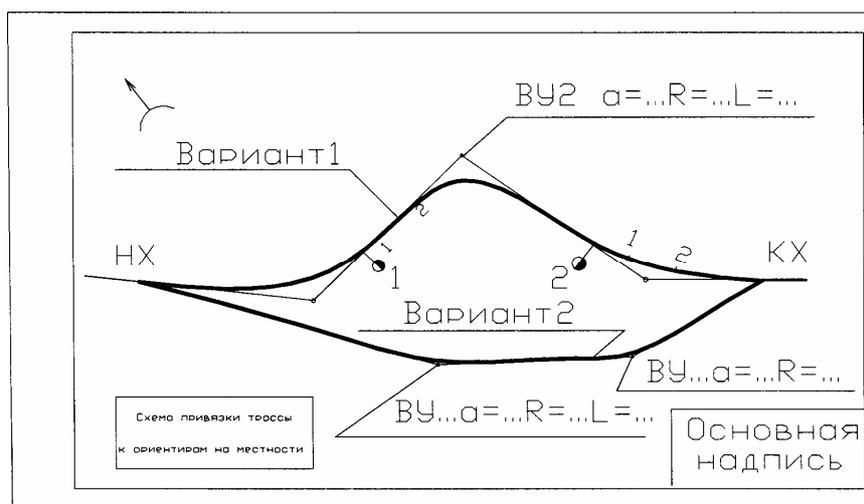


Рис. 3.4. Схема чертежа «План трассы»

### 3.2. Продольный профиль

Продольный профиль составляется по выбранному варианту трассы на бумаге формата А2 (рис. 3.6).

Проектирование продольного профиля включает:

- 1) нанесение исходной информации;
- 2) назначение контрольных точек и руководящих рабочих отметок;
- 3) составление вариантов проектной линии;
- 4) проектирование кюветов.

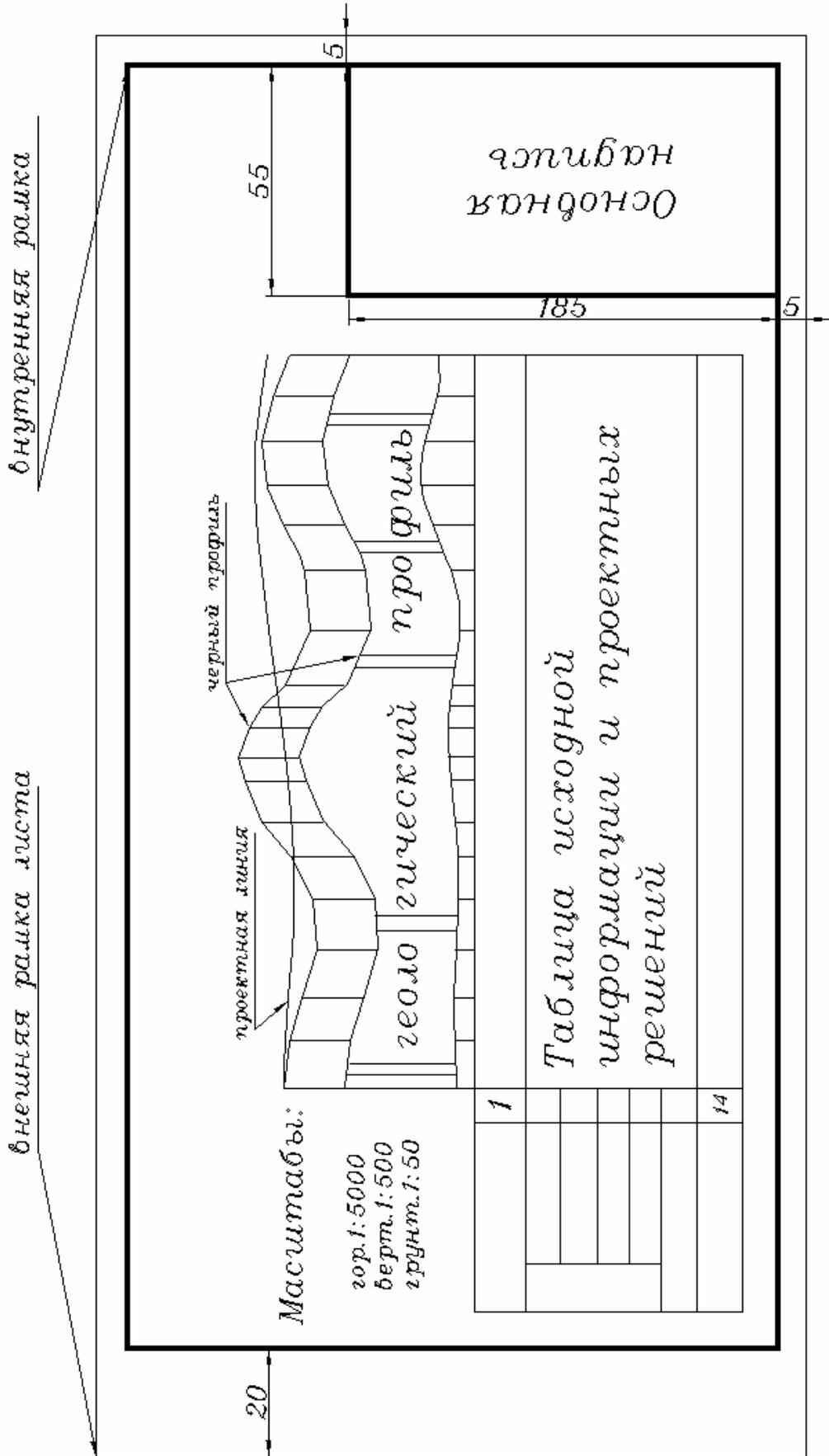


Рис. 3.6. Схема чертежа «Продольный профиль»



Тип местности по увлажнению определяется по карте местности. В курсовом проекте принимается 1-й тип, если уклоны местности более 2‰, 3-й тип – на участках болот или если в задании указан уровень грунтовых вод и 2-й тип – в остальных случаях. Границы типов указывают в графе 2 (см. табл. 3.2). Типы местности обозначают цифрами 1, 2 или 3.

Таблица 3.2

Таблица исходной информации и проектных решений

Развернутый план дороги		1	
Тип местности по увлажнению		2	
Проектные данные	Тип поперечного профиля		3
	Левый кювет	Укрепление	4
		Уклон, ‰	5
		Длина, м	
		Отметка дна, м	6
	Правый кювет	Укрепление	7
		Уклон, ‰	8
		Длина, м	
		Отметка дна, м	9
	Уклон и вертикальная кривая		10
Отметки оси дороги		11	
Фактические данные	Отметки земли, м	12	
	Расстояние, м	13	
Пикет		14	
Указатель километров			
Прямая и кривая в плане			

**Черный профиль** – это продольный профиль поверхности земли вдоль оси трассы. Для его построения по карте в горизонталях на всех пикетах, переломах местности, в местах пересечения с водотоками, автомобильными и железными дорогами определяют отметки поверхности земли с точностью до 1 см. Если точка находится между горизонталями карты, то ее отметку находят методом интерполяции. Если точка находится в пределах замкнутой горизонтали, то ее отметку вычисляют методом экстраполяции.

**Пример 3.1.** Исходные данные приведены на рис. 3.9. Определить черные отметки ПК 10 и ПК 11+60.

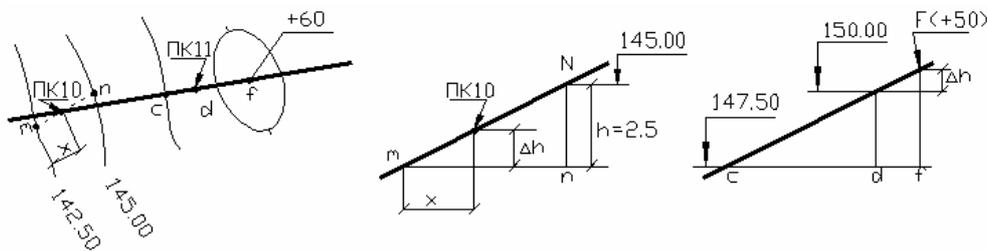


Рис. 3.9. Схема к определению отметок местности по карте

Отметку ПК 10 найдем методом интерполяции. Для этого через ПК 10 проведем линию наибольшего ската  $mn$  (рис. 3.9), измерим ее длину ( $mn = 60$  м) и расстояние  $x$  от нижерасположенной горизонтали с отметкой 142,5 м ( $x = 45$  м). Из рис. 3.9, следует, что сечение горизонтали  $h = 2,5$  м

$$\Delta h = \frac{h}{mn} \cdot x = \frac{2,5}{60} \cdot 45 = 1,87 \text{ м.}$$

Отметка ПК 10 будет

$$N_{\text{ПК}10} = 142,5 + 1,87 = 144,37 \text{ м.}$$

Отметку ПК 11 + 60 найдем методом экстраполяции. На карте по линии наибольшего ската расстояние измерим  $cd$  между ближайшими горизонталями ( $cd = 55$  м) и расстояние  $fd$  от ПК 11 + 60 (точка  $F$ ) до ближайшей горизонтали ( $fd = 30$  м). Из рис. 3.9 следует:

$$\Delta h = \frac{h}{cd} \cdot fd = \frac{2,5}{55} \cdot 30 = 1,36$$

и отметка ПК 11 + 60 будет равна:

$$N_{\text{ПК}11+60} = 150,0 + 1,36 = 151,36 \text{ м.}$$

Вычисленные отметки поверхности земли по оси трассы вписывают в графу 12 (см. табл. 3.2).

Из графы 12 табл. 3.2 выбирают наименьшую отметку земли и наносят ее на чертеж «Продольный профиль» так, чтобы от нее до верха графы 1 (см. табл. 3.2) оставалось не менее 7 см для размещения геологического профиля. В обе стороны от этой точки наносят отметки остальных точек в масштабах: горизонтальном – 1 : 5000; вертикальном – 1 : 500. При этом

расстояние от наивысшей точки черного профиля до верхней линии рамки должно быть не менее 3 см для размещения необходимых надписей. Если последнее условие не выполнено, то черный профиль смещают по вертикали (рис. 3.10).

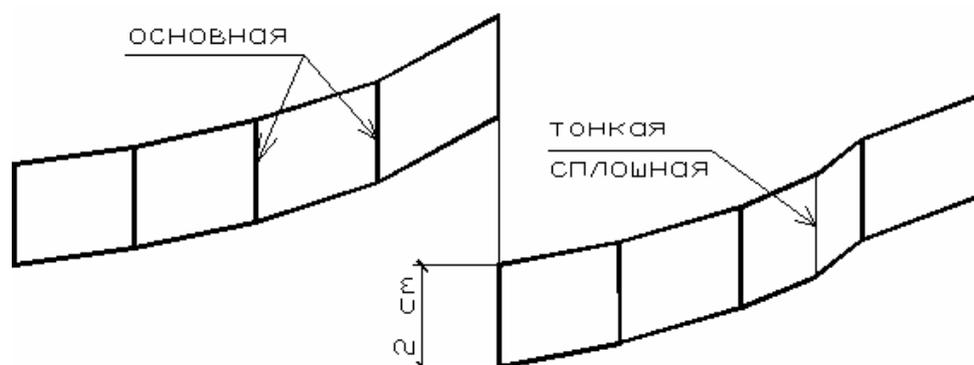


Рис. 3.10. Пример нанесения черного профиля со смещением по высоте

Точки черного профиля соединяют сплошной тонкой линией. Параллельно ей на расстоянии 2 см проводят вторую сплошную тонкую линию и одновременно соединяют точки этих профилей вертикальными прямыми: сплошными основными толщиной 0,6 – 1,0 мм – на пикетах и сплошными тонкими – на плюсовых точках (рис. 3.10).

### 3.2.2. Назначение контрольных и руководящих отметок

Контрольными точками продольного профиля являются пересечения с железными и автомобильными дорогами, водотоками.

При пересечении дорог в разных уровнях контрольная отметка проектной линии равна:

$$H_{пр} = H_{ч} + \Gamma + h_c + 0,2,$$

где  $H_{ч}$  – отметка проезжей части по оси пересекаемой автомобильной дороги или головки рельса железной дороги;

$\Gamma$  – габарит автомобильный (5 м) или железнодорожный (5,55 м – для неэлектрифицированных дорог и 6,5 м – для электрифицированных);

$h_c$  – высота пролетного строения путепровода (в курсовом проекте может быть принята 1,2 м).

При пересечении автомобильных дорог в одном уровне контрольная отметка проектной линии равна отметке проезжей части по оси пересекаемой дороги. В случае если пересекаемая дорога имеет более низкую ка-

тегорию, можно изменить ее высотное положение путем ее переустройства на подходах к пересечению и назначить контрольную отметку на пересечении по условиям проектирования продольного профиля.

На пересечениях (примыканиях) автомобильных дорог в одном уровне предельный уклон дорог должен быть не более – 40‰ на расстоянии видимости поверхности дороги в обе стороны от пересечения.

При пересечении железной дороги в одном уровне контрольную отметку проектной линии принимают равной отметке головки рельса железной дороги. Автомобильная дорога на протяжении не менее 2 м от крайнего рельса должна в продольном профиле иметь уклон 0, или вертикальную кривую большого радиуса при пересечении железной дороги на прямолинейном участке, или уклон виража при пересечении железной дороги на кривой. Подходы автомобильной дороги к пересечению на протяжении 50 м следует проектировать с продольным уклоном не более 30‰.

### **Пересечение водотоков**

Водотоки бывают постоянные (реки, ручьи), отмеченные на карте синей линией, и периодически действующие, отмеченные на карте синей пунктирной линией. Для установления положения последних с помощью карты местности анализируют все понижения черного профиля. Если на рассматриваемом понижении возможен сток воды в обе стороны, то такое понижение является седловиной и не требует устройства водопропускного сооружения. Над таким понижением на профиле обозначается отвод воды в обе стороны трассы (точка со стрелками вверх и вниз от нее).

Если же по понижению местности к дороге подходит вода, то ее пропускают под дорогой с помощью труб или мостов.

Типовые трубы бывают круглые и прямоугольные одно-, двух- и трехчковые. Отверстия круглых длинномерных труб – (внутренний диаметр) 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 м; прямоугольных – (расстояние между боковыми стенками) 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 м. Круглые трубы диаметром 0,80 м применяют при длине до 15 м и диаметром 1,0 м – при длине до 30 м.

Трубы устанавливают на суходолах или небольших ручьях. В последнем случае отверстие принимают не менее 1,20 м.

Мосты проектируют на постоянных водотоках. В курсовом проекте длину малых мостов назначают ориентировочно (12, 18, 24, 27, 30 м), отверстия водопропускных сооружений и расчетные уровни воды в зоне сооружений назначают без расчета и вычисляют контрольные отметки  $H_{пр}$  у труб и мостов.

У труб контрольная отметка равна:

а) по засыпке над трубой (не менее 0,5 м) равна:

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ч}} + d + t + 0,5 + H_{\text{д.о.}} + (0,5b + c) i_{\text{п}},$$

где  $H_{\text{ч}}$  – отметка черного профиля;

$d$  – внутренний диаметр круглой или высота прямоугольной трубы;

$t$  – толщина стенки трубы (в курсовом проекте допускается принимать 0,08 м для  $d$  равного 0,8 и 0,1 м – для остальных труб);

$H_{\text{д.о.}}$  – толщина дорожной одежды;

$b$  – ширина проезжей части дорог II – VI категорий или одного направления дорог I категории;

$c$  – ширина укрепленной полосы (на дорогах IV, III, II категорий или остановочной на дорогах категории I-a);

$i_{\text{п}}$  – уклон проезжей части ( $i_{\text{п}} = 0,020$  на дорогах V, IV, III и II категории,  $i_{\text{п}} = 0,025$  на дорогах I категории);

б) по возвышению бровки обочины над уровнем поверхностных вод (УПВ), равным 0,5 м при безнапорном и 1,0 м при напорном режиме протекания воды в трубе

$$H_{\text{пр}} = \text{УПВ} + 0,5(1,0) + (0,5b + c) i_{\text{п}} + (a - c) i_{\text{о}},$$

где  $a, i_{\text{о}}$  – ширина и поперечный уклон обочины ( $i_{\text{о}} = 0,040$ );

В курсовом проекте следует принимать круглые водопропускные трубы, предназначенные для работы в безопасном режиме.

**Пример 3.2.** Исходные данные представлены на рис. 3.11. Требуется определить контрольные отметки у трубы на ПК 20 + 40 для дороги III категории при толщине дорожной одежды 0,6 м.

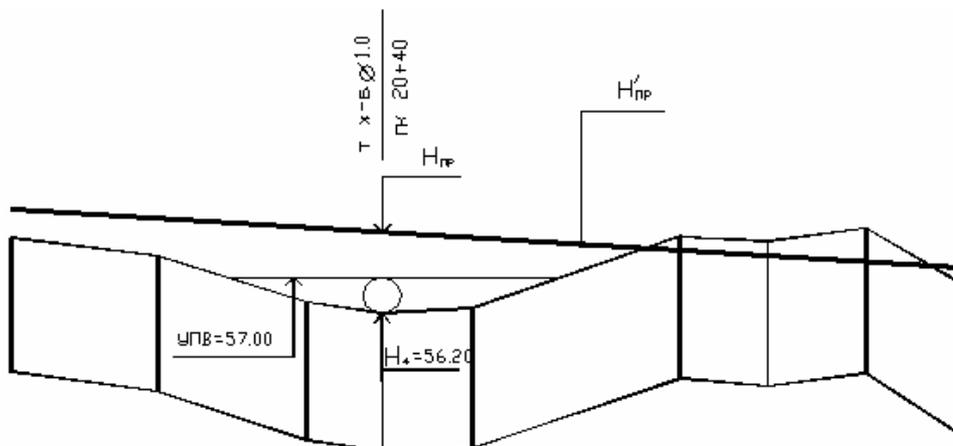


Рис. 3.11. Исходные данные к примеру 3.2

Контрольные отметки:

а) по засыпке над трубой

$$H_{\text{пр}} = 56,20 + 1,0 + 0,1 + 0,5 + 0,6 + (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) \cdot 0,02 = 58,58 \text{ м};$$

б) по возвышению бровки земляного полотна над УПВ

$$H_{\text{пр}} = 57,00 + 0,5 + (3,5 + 0,5) \cdot 0,02 + (2,5 - 0,5) \cdot 0,04 = 57,66 \text{ м}.$$

Следовательно, над трубой проектная линия (см. рис. 3.8) не может быть ниже отметки 58,58 на ПК 20 + 40 и отметки 57,66 на участке, где устанавливается УПВ.

У мостов через несудоходные реки контрольная отметка равна:

$$H_{\text{пр}} = \text{РУВВ} + Z + h_c,$$

где РУВВ – расчетный уровень высокой воды, условно назначается на 1-2 м выше отметки бровки русла;

$Z$  – расстояние от расчетного уровня высокой воды РУВВ до низа пролетного строения (в Беларуси 1,0);

$h_c$  – строительная высота пролетного строения, в курсовом проекте ориентировочно может быть принята равной 1,0 м.

### **Руководящие рабочие отметки**

Проектную линию (ось проезжей части) следует стремиться проектировать по обертывающей (в насыпях). Руководящие рабочие отметки  $h_p$  (минимальные высоты насыпи) вычисляют:

а) по обеспечению с него незаносимости дороги на открытых участках

$$h_p^1 = h_{\text{CH}5\%} + \Delta h + (0,5b + c)i_{\text{п}} + (a - c)i_o,$$

где  $h_{\text{CH}5\%}$  – высота снега в данной местности с вероятностью превышения 5% (рекомендуется принимать 0,4 – 0,5 м в Брестской и Гродненской областях, 0,6 м – в Гомельской и Минской, 0,6 – 0,7 – в Витебской и Могилевской);

$\Delta h$  – запас высоты насыпи над снежным покровом для размещения сбрасываемого с дороги снега и увеличения скорости снежного потока над дорогой, равный 1,2 м для дорог категории I-а; 1,0 м для дорог категорий I-б, I-в; 0,7 м – для II; 0,6 м – для III; 0,5 м – для IV и V категорий;

б) по обеспечению хорошего водного режима земляного полотна на участках 2-го и 3-го типов местности по увлажнению

$$h_p^2 = H_{\min}^2 + H_{\text{д.о}} + (0,5b + c) \cdot i_{\text{п}};$$

$$h_p^3 = H_{\min}^3 + H_{\text{д.о}} + (0,5b + c) \cdot i_{\text{п}} - H_0,$$

где  $H_{\min}^{2(3)}$  – минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли с необеспеченным стоком ( $H_{\min}^2$ ) или над уровнем грунтовых вод ( $H_{\min}^3$ ), принимаемое по таблице 3.3;

$H_{\text{д.о}}$  – толщина дорожной одежды;

$H_0$  – глубина залегания грунтовых вод.

Таблица 3.3

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение низа дорожной одежды для типов местности, м	
	Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

### 3.2.3. Составление варианта проектной линии

Проектную линию в курсовом проекте проектируют методом тангенсов. Для этого на профиле намечают контрольные точки и положение руководящих рабочих отметок. С помощью упругой линии графически намечают ориентировочное положение проектной линии. Ее заменяют отрезками прямых  $ABCD$  (рис. 3.12).

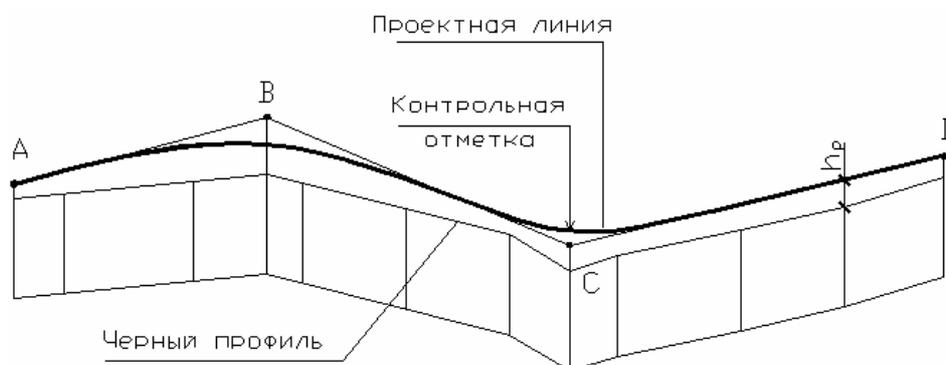


Рис. 3.12. Схема к нанесению проектной линии

Пикетное положение и отметки точек  $A, B, C, D$  ломаной линии определяют графически. Вычисляют уклоны прямых  $AB, BC, CD$  и т.д., округляют их до целого значения промилле и корректируют отметки точек или их пикетное положение.

**Пример 3.3.** Точки  $A$  и  $B$  (см. рис. 3.12) расположены на пикетах 2 и 6. Их отметки 99,00 и 102,50. Вычисляем уклон прямой  $AB$

$$i = (102,50 - 99,00) / (\text{ПК}6 - \text{ПК}2) = 3,50 / 400 = 0,00875 = 8,75\text{‰}.$$

Округляем уклон прямой  $AB$  до 9‰. Тогда отметка точки  $B$  (ПК6) будет равна:

$$H_B = H_A + i \cdot l = 99,00 + 0,009 \cdot 400 = 102,60.$$

В переломах проектной линии вписывают вертикальные кривые. Расчет элементов кривых ведут исходя из схемы, представленной на рисунке 3.13.

Длину вертикальной кривой  $K$  радиуса  $R$  и тангенс  $T$ , м, определяют по формулам

$$K = \omega \cdot R = [i_1 - (-i_2)] \cdot R; \quad T = 0,5 \cdot K. \quad (3.7)$$

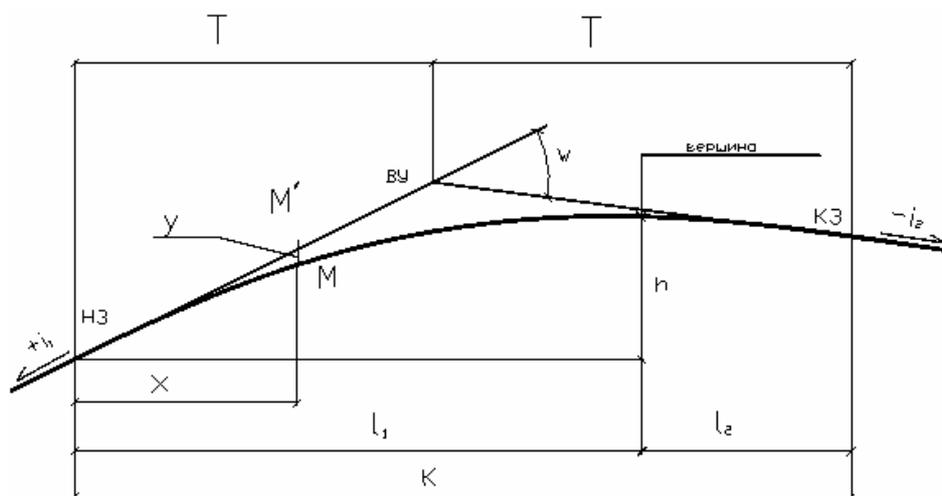


Рис. 3.13. Схема к расчету вертикальной кривой

Пикетное положение начала и конца кривой

$$\text{НЗ} = \text{ВУ} - T; \quad \text{КЗ} = \text{ВУ} + T. \quad (3.8)$$

Отметки начала и конца закругления

$$H_{НЗ} = H_{ВУ} - T \cdot i_1; \quad H_{КЗ} = H_{ВУ} + T \cdot (-i_2). \quad (3.9)$$

Вершина кривой (точка  $B$ ) расположена на расстоянии  $l_1$  от ее начала и  $l_2$  от ее конца

$$l_1 = i_1 \cdot R; \quad l_2 = i_2 \cdot R, \text{ м.} \quad (3.10)$$

Отметка вершины кривой

$$H_B = H_{НЗ} \pm \frac{l_1^2}{2 \cdot R}. \quad (3.11)$$

Отметка точек на кривой (например, точки  $M$ , см. рис. 3.13) может быть вычислена двумя способами:

$$\text{1-й способ} \quad H_M = H'_M - y = H_{НЗ} + x \cdot i_1 - \frac{x^2}{2 \cdot R}; \quad (3.12)$$

$$\text{2-й способ} \quad H_M = H_B - h = H_B \mp \frac{l^2}{2 \cdot R}. \quad (3.13)$$

**Пример 3.4.** Две прямые с уклонами  $i_1 = 30\%$  и  $i_2 = -10\%$  пересекаются на ПК 10 + 00. Отметка точки пересечения 100,00. Требуется вычислить пикетное положение и отметки начала, вершины и конца выпуклой вертикальной кривой радиусом 10000 м, а также пикета 9 + 00.

По (3.7) находим

$$K = [0,030 - (-0,010)] 10000 = 400 \text{ м};$$

$$T = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ м.}$$

Пикетное положение начала (конца) кривой и их отметки находим по (3.8) и (3.9).

$$HЗ = (\text{ПК}10+00) - 1000 - 200 = 800 = \text{ПК}8 + 00;$$

$$KЗ = (\text{ПК}10 + 00) + 200 = \text{ПК}12 + 00;$$

$$H_{НЗ} = 100,00 - 200 \cdot 0,030 = 94,00;$$

$$H_{КЗ} = 100,00 + 200 \cdot (-0,010) = 98,00.$$

По формуле (3.10) вычисляем расположение вершины кривой:

$$\text{ПК } B = \text{НЗ} + i_1 R = \text{ПК}8 + 00 + 0,030 \cdot 10000 = \text{ПК } 11 + 00.$$

Отметка вершин кривой – по формуле (3.11)

$$H_B = 94,00 + \frac{300^2}{2 \cdot 10000} = 98,50 \text{ м.}$$

Отметка пикета 9 + 00, находящегося от вершины на расстоянии  $l = \text{ПК } 11 - \text{ПК } 9 = 200$  м, по (3.13) равна:

$$H_{\text{ПК}9} = 98,50 - \frac{200^2}{2 \cdot 10000} = 96,50 \text{ м.}$$

Вычислим также отметку пикета 9 + 00 по формуле (3.12), принимая начало координат  $X, Y$  на пикете 8 + 00:

$$H_{\text{ПК}9} = 94,00 + 100 \cdot 0,030 - \frac{100^2}{2 \cdot 10000} = 96,50.$$

Прямые участки проектной линии и вертикальные кривые обозначают в графе 10 (табл. 3.2) продольного профиля в соответствии с рисунком 3.14.

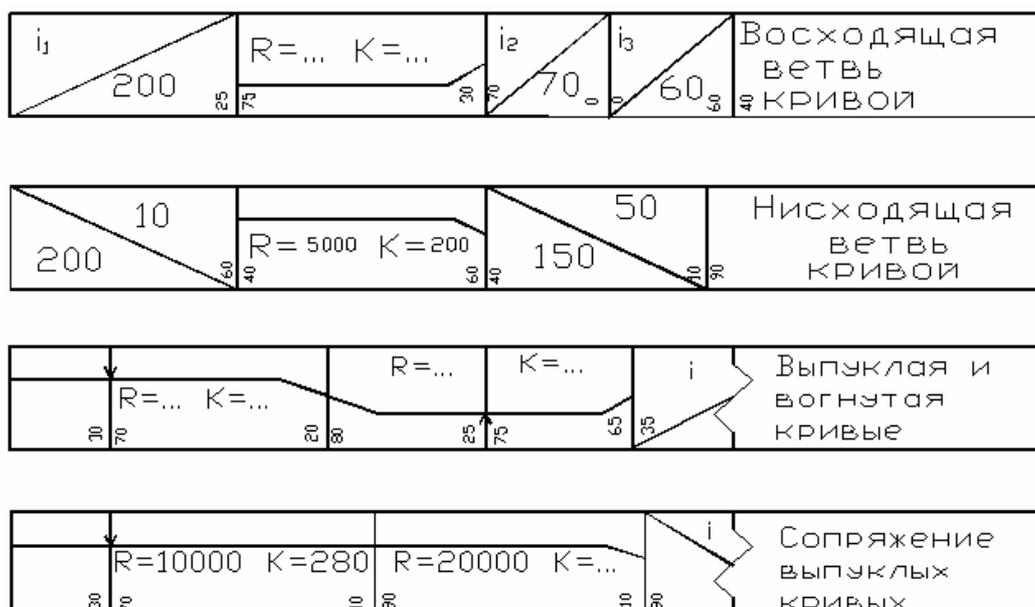


Рис. 3.14. Обозначение вертикальных кривых и прямых

Проектные отметки заносят в графу 10 таблицы 3.2.

Вычисляют рабочие отметки (высоту насыпей и глубину выемок) как разность проектных (графа 11) и черных отметок (графа 12). Рабочие отметки на пикетах и плюсовых точках выписывают над проектной линией в случае насыпей и под проектной линией в случае выемок, располагая цифры вертикально.

На участках перехода насыпи в выемку определяют положение нулевых точек (рабочие отметки в которых равны нулю), вычисляя расстояние  $X$

$$X = \frac{h_n \cdot l}{h_n + h_b} = \frac{2,4}{2,4 + 2,6} \cdot 100 = 48 \text{ м,}$$

где  $h_n, h_b$  – рабочие отметки (высота насыпи и глубина выемки);

$l$  – длина участка.

Положение нулевой точки показывают пунктиром от проектной линии до верха геологического профиля и от низа геологического профиля до графы 1 (см. табл. 3.2). На пунктире, ниже геологического профиля, указывают расстояния до соседних пикетов.

#### 3.2.4. Проектирование кюветов

Кюветы необходимо устраивать в выемках, на участках низких насыпей и нулевых отметок.

Требуемую глубину кюветов (расстояние от бровки обочины до дна кювета) назначают в зависимости от вида грунта, конструкции дорожной одежды и продольного уклона. При наличии в дорожной одежде дренирующего слоя, глубина кювета должна быть такой, чтобы низ дренирующего слоя дорожной одежды был выше дна кювета на 0,1 – 0,2 м. При отсутствии дренирующего слоя глубина кювета должна быть не менее 0,3 м в непылеватых песках, 0,6 м в супесях непылеватых, 0,8 м в суглинках и глинах, 0,9 м в пылеватых грунтах. Минимальный уклон дна кювета 5‰, в исключительных случаях 3‰.

Проектирование кюветов включает:

- проектирование продольного профиля дна кювета;
- назначение укрепления кюветов.

При проектировании продольного профиля дна кювета возможны два случая:

- уклон проектной линии на участке дороги, где необходим кювет не менее 5‰;
- уклон проектной линии менее 5‰.

### Случай 1.

Дно кювета располагают параллельно проектной линии ниже бровки обочины на глубину кювета  $h_k$ . В этом случае графы 6 и 9 (см. табл. 3.2) не заполняют, а в графах 5 и 8 указывают глубину кювета (например,  $h_k = 0,8$ ) и пикетное положение (расстояние до ближайшего пикета) начала и конца кювета. Положение начала (конца) кювета определяют следующим образом. Вычисляют высоту насыпи, при которой начинается (заканчивается) кювет:

$$h_{нк} = h_k + \Delta Y, \quad (3.14)$$

где  $h_k$  – принятая глубина кювета;

$\Delta Y$  – разность отметок оси дороги и бровки обочины:

$$\Delta Y = i_n \cdot (0,5b + c) + i_o (a - c); \quad (3.15)$$

где  $i_n, i_o$  – поперечные уклоны проезжей части и обочины;

$b$  – ширина проезжей части двухполосной дороги или одного направления дороги I категории;

$a, c$  – ширина обочины и укрепленной полосы (на дороге категории I-а вместо укрепленной полосы проектируют остановочную полосу шириной 2,50 м).

Для случая, когда дно кювета параллельно проектной линии сравнивают рабочие отметки насыпей ближайших к выемке величиною  $h_{нк}$ .

Если  $h_n > h_{нк}$  (рис. 3.15, а), то расстояние от поперечника с рабочей отметкой  $h_n$  до начала кювета равно:

$$X_k = l \cdot \frac{h_n - h_{нк}}{h_n + h_b}. \quad (3.16)$$

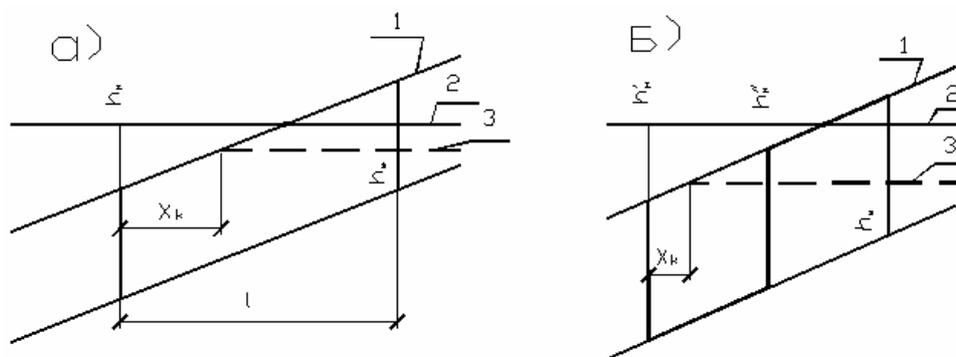


Рис. 3.15. Схема к определению начала (конца) кювета в случае расположения дна кювета параллельно проектной линии:  
1 – черный профиль; 2 – проектная линия; 3 – дно кювета.

Если  $h_{\text{н}} < h_{\text{нк}}$ , то начало кювета будет располагаться между поперечниками с рабочими отметками  $h'_{\text{н}}$  и  $h''_{\text{н}}$  (рис. 3.15, б),  $h'_{\text{н}} > h_{\text{нк}}$  и  $h''_{\text{н}} < h_{\text{нк}}$ :

$$X_k = \frac{h'_{\text{н}} - h_{\text{нк}}}{h'_{\text{н}} - h''_{\text{н}}}, \quad (3.17)$$

**Пример 3.5.** Дорога III технической категории. Рабочие отметки на пикетах 10 + 00; 11 + 00; 12 + 00 соответственно равны +2,16; +1,16; -0,84 (выемка). Дно кювета расположено параллельно проектной линии. Требуется вычислить пикетное положение начала кювета при его глубине 0,8 и 1,20 м.

Вычислим разность отметок проектной линии и бровки обочины для дороги III технической категории по формуле (3.15)

$$\Delta Y = 0,02 (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) + 0,04 (2,5 - 0,5) = 0,08 + 0,08 = 0,16 \text{ м.}$$

При глубине кювета 0,8 м вычислим

$$h_{\text{нк}} = 0,8 + 0,16 = 0,96 \text{ м.}$$

Ближайшая к выемке насыпь на пикете 11 + 00 имеет высоту 1,16 м,  $1,16 > 0,96$ .

Начало кювета расположено между ПК11 + 00 и ПК12 + 00 на расстоянии  $X_k$  от ПК11 + 00. По формуле (3.16) вычислим величину  $X_k$ :

$$X_k = 100 \cdot \frac{1,16 - 0,96}{1,16 + 0,84} = 100 \cdot \frac{0,2}{2,0} = 10 \text{ м,}$$

При глубине кювета 1,20 м

$$h_{\text{нк}} = 1,20 + 0,16 = 1,36 \text{ м.}$$

На ПК10 + 00  $h'_{\text{н}} = 2,16$ , т.е.  $h'_{\text{н}} > h_{\text{нк}}$  (см. рис. 3.15, б), а на ПК11 + 00  $h''_{\text{н}} = 1,16$ , т.е.  $h''_{\text{н}} < h_{\text{нк}}$ .

Начало кювета будет находиться на расстоянии  $X_k$  от ПК10+00, и величина  $X_k$  вычисляется по формуле (3.17)

$$X_k = 100 \cdot \frac{2,16 - 1,36}{2,16 - 1,16} = 80 \text{ м,}$$

## Случай 2.

Уклоны проектной линии на участке дороги, где необходим кювет, – менее 5‰. Такие участки могут быть на вертикальных кривых и на прямых. Для обеспечения продольного отвода воды кюветы проектируют раздельно (не параллельно проектной линии) с минимальным уклоном  $i = 5‰$  (3‰ – в исключительных случаях для равнинной местности).

Если проектная линия – прямая с уклоном менее 5‰, то проектирование продольного профиля дна кюветов выполняется следующим образом.

1. Намечают водораздельную точку  $A$  на середине выемки при  $0 < i < 5‰$  таким образом, чтобы обеспечить минимальное увеличение объема выемки за счет увеличения глубины кювета.

2. Вычисляют отметки дна кювета с уклонами  $i = 5‰$  в стороны от водораздельной точки до выхода на поверхность земли, а также пикетное положение начала и конца кювета по данным об отметках черного профиля  $H'_ч$  и  $H''_ч$  и дна кювета  $H'_к$  и  $H''_к$  (рис. 3.16).

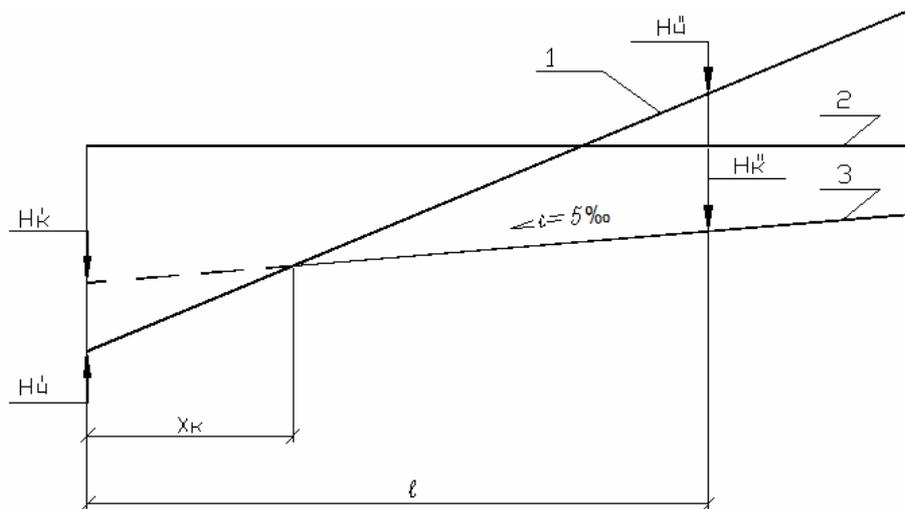


Рис. 3.16. Схема к определению положения начала кювета при раздельном проектировании:

1 – черный профиль; 2 – проектная линия; 3 – дно кювета

Вычисляют расстояние от поверхности земли до фактического дна кювета в выемке

$$a_в = H''_ч - H''_к$$

и до условного дна кювета в насыпи

$$a_н = H'_ч - H'_к.$$

Расстояние до начала кювета равно:

$$X_к = \frac{a_н}{a_н + a_в}.$$

**Пример 3.6.** Дорога IV технической категории на участке выемки (ПК11 + 00 – ПК13 + 00) проходит с уклоном 0‰ и имеет отметку проектной линии 85,63,  $h_k = 1,00$  м. Отметки черного профиля на пикетах 10 + 00, 11 + 00, 12 + 00, 13 + 00 и 14 + 00 соответственно 80,50; 85,00; 85,50; 85,00; 82,00.

Требуется запроектировать кювет с уклоном дна 5‰ при минимальной глубине кювета 1,00 м.

Для дороги IV категории разность отметок оси и бровки равна:

$$\begin{aligned} \Delta Y &= i_n \cdot (b + c) + i_o (a - c) = \\ &= 0,02 (3,0 + 0,5) + 0,04 (2,0 - 0,5) = 0,13 \text{ м;} \end{aligned}$$

Вычислим отметку дна кювета на ПК 12 + 00

$$H_{к_{12}} = H_{п_{12}} - h_k - \Delta Y = 85,63 - 1,00 - 0,13 = 84,50 \text{ м.}$$

От пикета 12 + 00 запроектируем дно кювета с уклоном 5‰ (см. табл. 3.2, графа 5) до выхода на поверхность земли.

Вычислим отметки дна кювета на пикетах 11 + 00, 10 + 00, 13 + 00:

$$H_{к_{11}} = H_{к_{12}} - 0,005 \cdot l = 84,50 - 0,005 \cdot 100 = 84,00;$$

$$H_{к_{13}} = H_{к_{11}};$$

$$H_{к_{10}} = 84,00 - 0,005 \cdot 100 = 83,50; \quad H_{к_{14}} = H_{к_{10}}.$$

Для определения положения и отметки конца кювета сопоставим отметки дна кювета и поверхности земли (черные отметки) на пикетах 10 + 00 и 11 + 00.

На пикете 11 + 00 дно кювета имеет отметку 84,00, а поверхность земли 85,00, т.е. оно расположено ниже поверхности земли на 1,00 м. На пикете 10 + 00 условное дно кювета выше поверхности земли на величину  $83,50 - 80,50 = 3,00$  м. Кювет начинается на ПК  $10+00 + X_k$

$$X_k = 100 \cdot \frac{3,00}{3,00 + 1,00} = 75 \text{ м.}$$

Заносим положение начала кювета в графу 5 таблицы 3.2.

Вычисляем отметку дна начала кювета:

$$H_{нк} = H_{к_{11}} - 0,005 \cdot 25 = 84,00 - 0,12 = 83,85 \text{ м.}$$

Для определения положения и отметки конца кювета сопоставим отметки дна кювета и поверхности земли на пикетах 13 + 00 и 14 + 00:

$$a_b = 85,00 - 84,00 = 1,00; \quad a_n = 83,50 - 82,00 = 1,50 \text{ м;}$$

Кювет заканчивается на ПК 13 +  $X_k$

$$X_k = l \cdot \frac{a_B}{a_B + a_H} = 100 \cdot \frac{1,00}{1,00 + 1,50} = 40 \text{ м.}$$

Отмечаем положение конца кювета на пикете 13 + 40 в графе 5 и вычисляем отметку дна в конце кювета:

$$H_{\text{кк}} = H_{\text{к13}} - 0,005 \cdot 40 = 84,00 - 0,20 = 83,80.$$

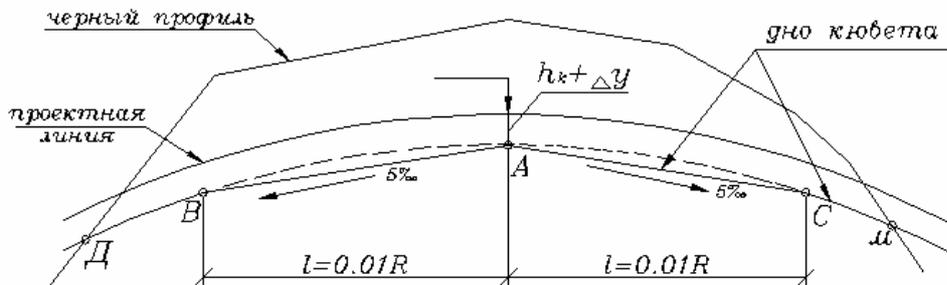
Проектирование продольного профиля дна кювета на участках выпуклых кривых (выемки, низкие насыпи) выполняются следующим образом:

1) по формуле (3.15) вычисляется снижение бровки обочины  $\Delta Y$ . Так, для дороги IV категории  $\Delta Y = 0,020 (3,0 + 0,5) + 0,04 (2,0 - 0,5) = 0,13 \text{ м}$ ;

2) под вершиной выпуклой кривой (ниже ее на глубину кювета  $h_k + \Delta Y$ ) намечают водораздельную точку  $A$  (рис. 3.17), ее отметку записывают в графы 8 и 11 (см. табл. 3.2);

3) вычисляют отметки дна кювета справа и слева от точки  $A$  на участке длиной  $l = i R$  при уклоне дна кювета  $i = 5\text{‰}$  ( $l = 0,01 R$  при  $i = 5\text{‰}$ ) и записывают в графы 6, 9; уклон  $i$  и расстояние  $l$  записывают в графы 5, 8 таблицы 3.2;

4) за пределами участка  $BC$  разделного проектирования на  $BD$  и  $CM$  кювет проектируют параллельно бровке земляного полотна (см. случай 1) до выхода на поверхность земли (до точек  $D$  и  $M$ ).



8	90	70	$h_k=0,8$	50	50	5	150	150	5	50	50	$h_k=0,8$	20	80
9				14.45			14.70			14.70		14.45		
10	20	0	0				$R=15000$			$K=525$			25	15
13		13.13		14.80			15.80			15.80		14.80	14.50	13.31
14	3	4	5	6	7	8	9							

Рис. 3.17. Пример разделительного проектирования продольного профиля дна кювета на участке выпуклой вертикальной кривой

**Пример 3.6.** Исходные данные даны на рисунке 3.6. Дорога IV технической категории. Минимальная глубина кювета 0,8 м. Проектная отметка на участке ПК3 + 00 – 8 + 25 – выпуклая кривая радиусом 15000 м.

Вычисленное по формуле (3.15)  $\Delta Y = 0,13$  м. От вершины кривой (ПК6 + 00) проектируем кювет с уклоном дна 5‰ на протяжении  $0,01R = 150$  м. Отметка дна кювета на ПК 6 + 00 ниже проектной отметки на величину  $(h_k + \Delta Y)$  (см. рис. 3.17) и равна  $16,13 - 0,80 - 0,13 = 15,20$  м.

Отметки дна кювета на пикетах 5+00, 7+00, 4+50 и 7+50 вычислим как отметки прямой с уклоном 5‰.

На остальном протяжении кювет проектируем параллельно проектной линии ниже ее на величину  $(h_k + \Delta Y) = 0,93$  м.

Для предотвращения размыва дно и стенки кювета укрепляют. Применяют следующие типы укрепления в зависимости от продольного уклона:

- засев трав с плакировкой при уклонах до 20‰;
- одерновка откосов и укрепление дна гравием (щебнем) при продольных уклонах дна до 30‰;
- мощение откосов и дна камнем, бетонными плитами при уклоне 30 – 50‰;
- перепады, быстротоки при уклоне свыше 50‰.

Типы укрепления назначают по величине продольного уклона проектной линии и записывают в графы 3, 7 (см. табл. 3.2): «содерновка», «мощение» и т.д. Там же отмечают границы принятых типов укрепления.

### 3.2.5. Нанесение геологического профиля

Геологическое строение местности наносят по данным задания ниже линии черного профиля в масштабе 1 : 50. Вдоль трассы через 200 – 300 м намечают шурфы глубиной до 2,0 м или скважины (в выемках, у искусственных сооружений). Глубина скважин в выемках должна давать представление о геологическом строении ниже проектной линии на 2,5 – 3,0 м.

Геологический профиль снизу ограничивается тонкой пунктирной линией. Между ней и верхом графы 1 (см. табл. 3.2) проводят вертикальные линии, соответствующие пикетам и плюсовым точкам, как и на черном профиле (рис. 3.18).

Шурфы на геологическом профиле обозначают в виде колонки шириной 4 мм, скважины – шириной 2 мм. У колонки снизу обозначают положение слоя грунта, считая от поверхности, глубину шурфа. Указывают номера грунтов по трудности разработки в соответствии с таблицей 3.4.

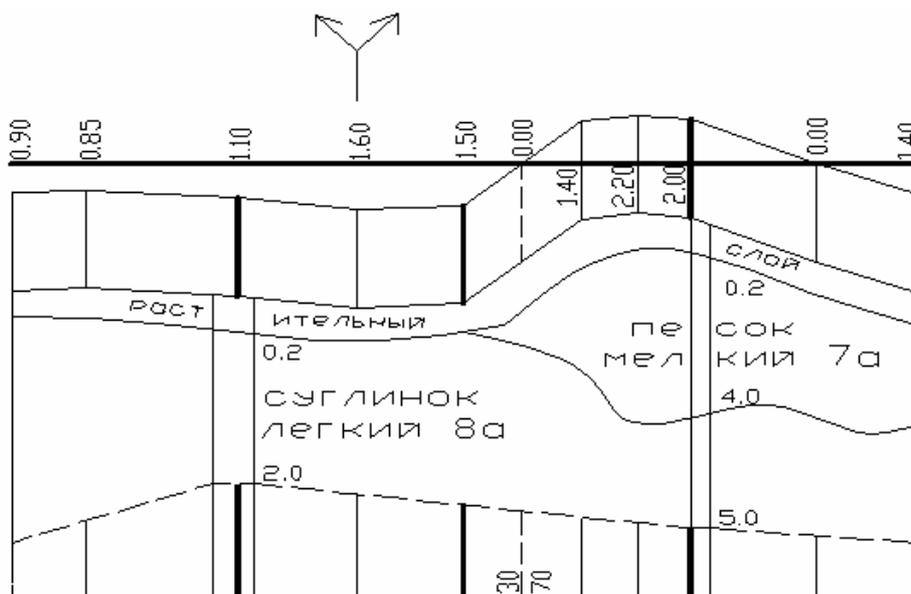


Рис. 3.18. Деталь геологического профиля

Таблица 3.4

Вид грунта	Номер	Вид грунта	Номер
Глина мягко- и тугопластичная без примесей	2а	Песок с примесью гравия, гальки до 10%	7б
То же с примесью щебня, гравия до 10%	8б	Песок с примесью гравия, гальки более 10%	7в
То же с примесью щебня, гравия более 10%	8в	Суглинок мягкопластичный без примесей (суглинок легкий)	8а
Глина полутвердая	8г	То же с примесью гравия, щебня до 10% и тугопластичный без примесей (суглинок тяжелый)	8б
Грунт растительного слоя без корней кустарника	3а	Супесь легкая пылеватая	9а
То же с корнями	3б	Торф без древесных корней	10а
Песок без примесей	7а	—	

### 3.2.6. Оформление чертежа «Продольный профиль»

В курсовом проекте на продольном профиле наносят временные реперы (не менее двух), трубы, мосты и путепроводы по месту их расположения, пересечения с имеющимися железными и автомобильными дорогами, линиями связи и электропередач, водоотводные и нагорные каналы в соответствии с условными обозначениями этих сооружений. При этом расчетные уровни высокой воды у мостов (РУВВ) и УПВ у труб принимаются те же, что и при расчете контрольных отметок.

Основную надпись (угловой штамп) располагают в правом нижнем углу.

Расположение и размеры граф основной надписи приведены на рисунке 3.5. В основной надписи в графе 4 следует записать «Продольный профиль». Остальные графы аналогичны чертежу «План трассы».

### 3.3. Поперечные профили земляного полотна

Поперечные профили земляного полотна проектируют одновременно с продольным профилем дороги.

В курсовом проекте должны быть представлены типовые поперечные профили земляного полотна в соответствии с рабочими отметками, видом грунта, с учетом обеспечения устойчивости откосов, требований безопасности движения, незаносимости дороги снегом, минимальной стоимости строительства.

#### 3.3.1. Типовые поперечные профили насыпей

**1. Низкие насыпи** (рис. 3.19) высотой до 3 м на дорогах I – II категорий и до 2 м на дорогах III – IV категорий. Заложение откосов (1 : 4 или 1 : 3) назначается по условиям безопасности движения. Нормы предусматривают крутизну откоса 1 : 4 для дорог категории I-а (для автомагистралей) и 1 : 3 для дорог I-б, I-в, II – IV категорий.

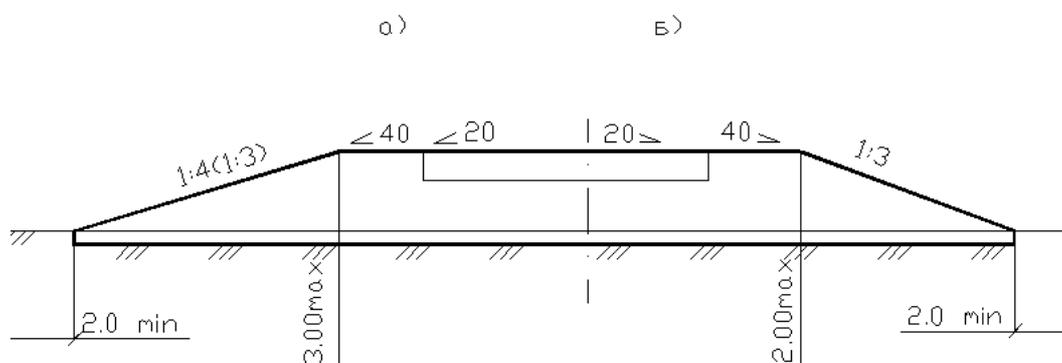


Рис. 3.19. Поперечные профили низких насыпей на дорогах:  
а – I – II категорий; б – III – IV категорий

**2. Высокие насыпи высотой от 2-3 до 12 м** (рис. 3.20). Крутизна откосов назначается минимальной по условиям их устойчивости:  $m_1 = 1,5$  при мелких и пылеватых песках,  $m_1 = 1,75$  при глинистых грунтах.

Для повышения устойчивости откоса нижнюю его часть при высоте насыпи более 6 м проектируют более пологой ( $m_2 = m_1 + 0,25$ ).

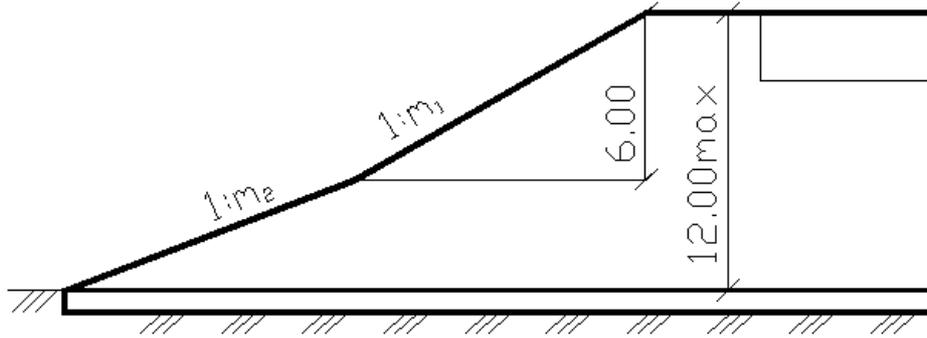


Рис. 3.20. Поперечные профили насыпей по условиям устойчивости откосов

### 3.3.2. Типовые поперечные профили выемок

На открытых участках местности по условиям снеготранспорта дороги мелкие выемки проектируют раскрытыми (рис. 3.21, а) или разделанными под насыпь (рис. 3.21, б), в выемках глубиной до 5 м откос выемки отдаляют от дороги путем устройства закуветной полки (кювет-резерва) шириной не менее 3,0 м (рис. 3.22). Заложение откоса со стороны обочины принимают 1 : 4 для дорог категории I-а и 1:3 для дорог I-б – IV категорий по условиям безопасности движения, аналогично заложению откосов низких насыпей (см. рис. 3.19).

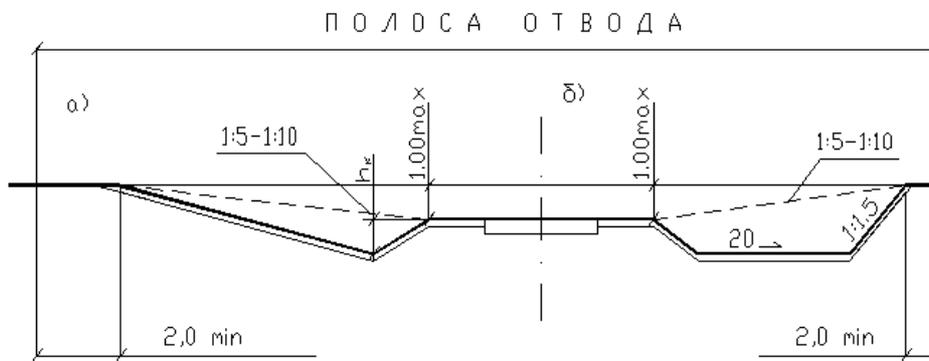


Рис. 3.21. Поперечный профиль мелкой выемки на открытой местности

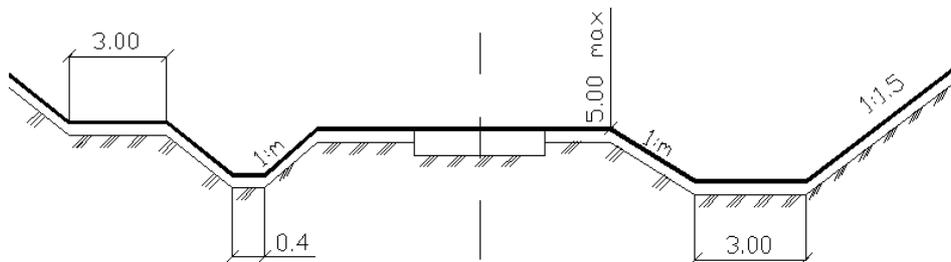


Рис. 3.22. Поперечный профиль выемки глубиной до 5 м на снеготранспортном участке местности

На снегонезаносимых участках выемки глубиной 0 – 12 м проектируют с заложением откосов 1 : 1,5 по условиям их устойчивости (см. рис. 3.23, а). Такой же поперечный профиль имеют выемки глубиной 5 – 12 м на снегонезаносимых участках местности.

Заложение откосов со стороны обочины принимают 1 : 4 для дороги категории I -а и 1 : 3 для дорог I-б – IV категорий.

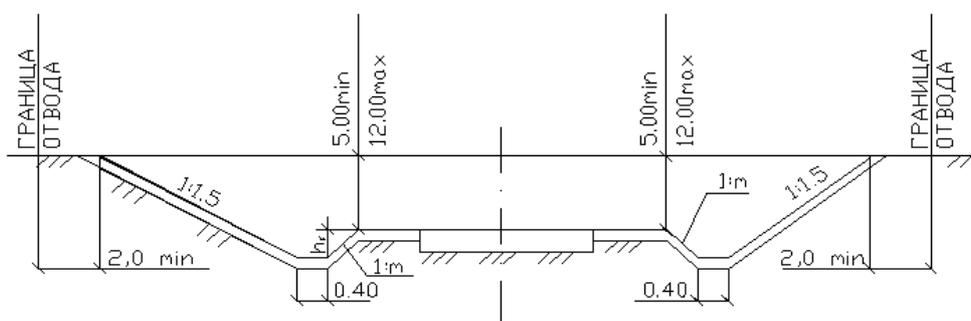


Рис. 3.23. Поперечный профиль выемки

Поперечные профили земляного полотна вычерчивают на миллиметровой бумаге в масштабе 1 : 200 или 1 : 100. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы. Типовым поперечникам присваивают номера (тип 1, тип 2 и т.д.), в соответствии с которыми в графе 3 таблицы 3.2 продольного профиля указывают их наименование и границы применения с расстояниями до ближайших пикетов.

### 3.3.3. Оформление чертежа «Поперечный профиль земляного полотна»

Поперечный профиль земляного полотна вычерчивают на ватмане формата А4 или А4 × 2, полные или до оси дороги.

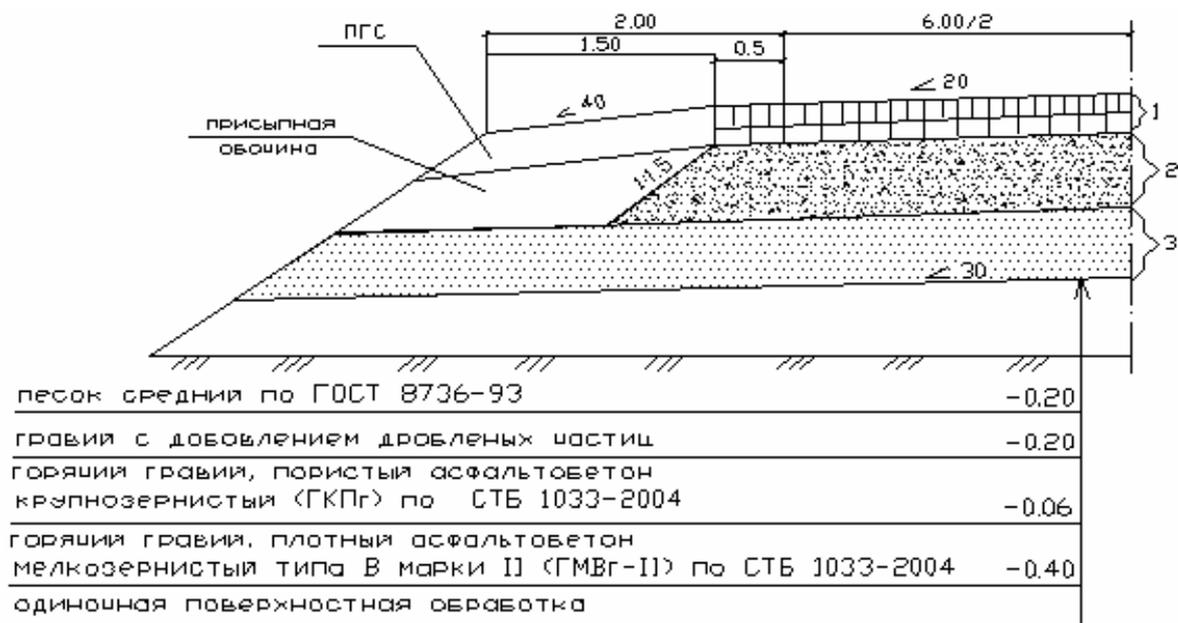
Основную надпись располагают в правом нижнем углу. В основной надписи (см. рис. 3.5) в графе 4 следует записать: «Поперечные профили земляного полотна». Остальные графы аналогичны чертежу «План трассы».

## 3.4. Конструкция дорожной одежды

Дорожная одежда включает в себя (рис. 3.24) покрытие 1, основание 2 и дополнительный слой основания. При этом если грунты земляного полотна пылеватые, то дополнительный слой основания является дренирующим и устраивается на всю ширину земляного полотна (рис. 3.25, а). При песчаных грунтах, супесях и при первом типе местности дополнительный слой основания является подстилающим и устраивается на ширину проезжей части и укрепительных полос (рис. 3.25, б).

Поперечный профиль проезжей части и дорожной одежды вычерчивают в масштабе 1 : 100 или 1 : 50. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы.

*a*



*б*

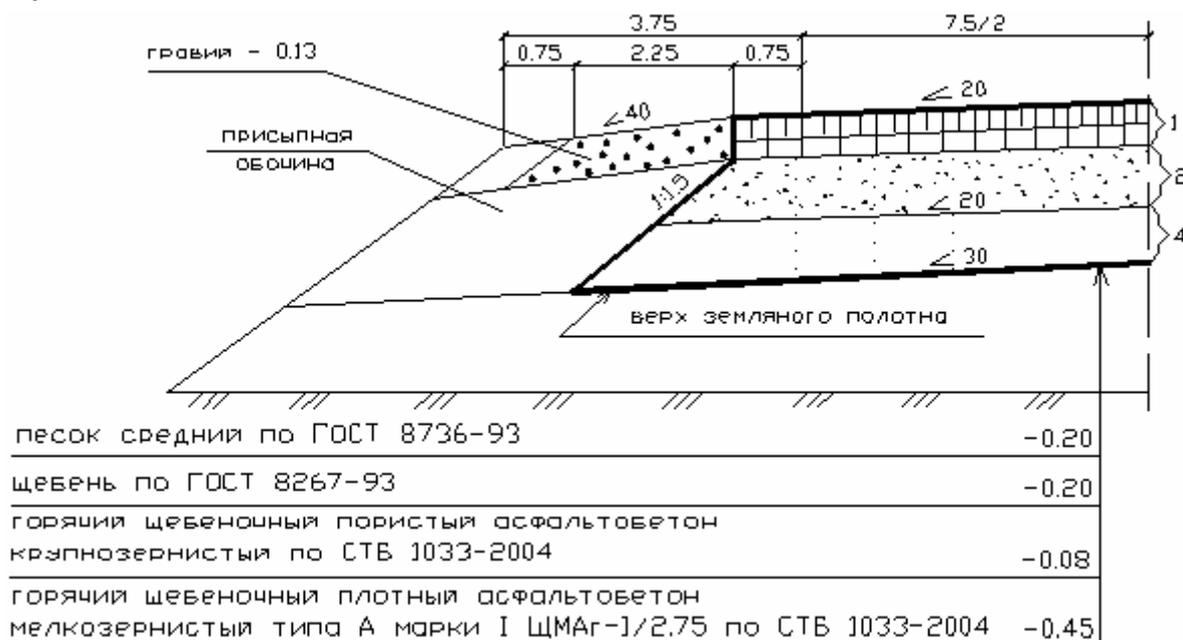


Рис. 3.24. Примеры конструкции дорожной одежды:  
*a* – с дренирующим слоем; *б* – с подстилающим слоем: 1 – покрытие;  
 2 – основание; 3 – дренирующий слой; 4 – подстилающий слой

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАБОТ

### 4.1. Определение объемов земляных работ

Объемы земляных работ включают в себя объемы насыпей, выемок, присыпных обочин, кюветов, снимаемого плодородного слоя.

Для принятой конструкции дорожной одежды вычисляют ширину верха земляного полотна  $B$ , снижение  $\Delta h$  бровки верха земляного полотна относительно проектной линии (оси проезжей части). Предварительно определяют разность отметок оси проезжей части и бровки обочины  $\Delta Y$  по формуле (3.15), а также разность отметок проектной линии и бровки верха земляного полотна (рис. 4.1)

$$\Delta h = H_1 + i_{3п} \cdot m \cdot H_1 + \Delta Y; \quad (4.1)$$

$$H_1 = H - (i_{п} - i_{3п}) \cdot (0,5b + c) - (i_0 - i_{3п}) \cdot (a - c), \quad (4.2)$$

где  $H$  – толщина дорожной одежды по оси проезжей части;  
 $i_{3п}$  – поперечный уклон верха земляного полотна ( $i_{3п} = 0,03$ );  
 $m$  – заложение откоса насыпи;  
 $i_{п}$  – поперечный уклон проезжей части;  
 $b$  – ширина проезжей части дорог II–VI категорий или одного направления дороги I категории;  
 $c$  – ширина укрепительной полосы;  
 $a$  – ширина обочины.

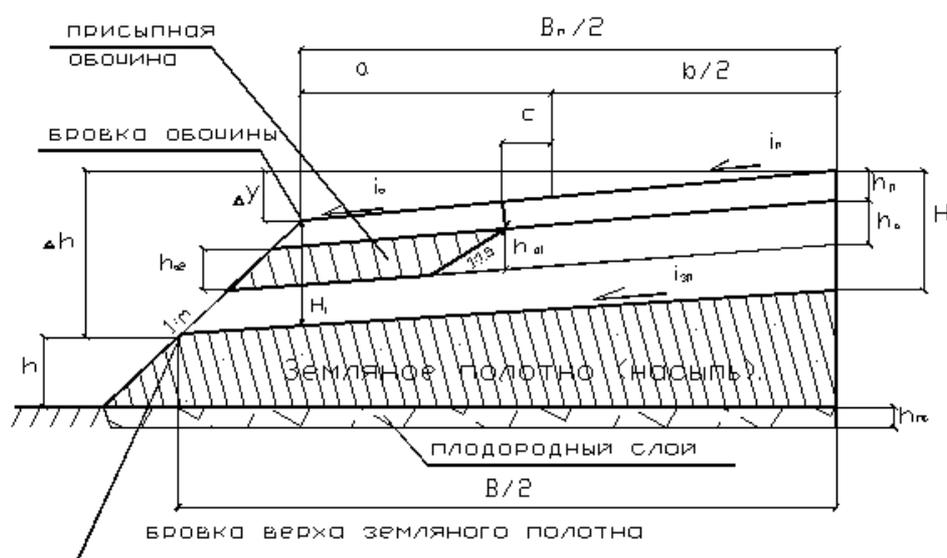


Рис. 4.1. Схема к определению объема насыпи и присыпных обочин

Ширина верха земляного полотна

$$B = B_{\text{п}} + 2m (\Delta h - \Delta Y), \quad (4.3)$$

где  $B_{\text{п}}$  – ширина дорожного полотна (расстояние между бровками обочины).

#### 4.1.1. Определение объемов насыпей

Объем насыпи при высоте до 6,0 м на участке длиной  $l$  равен:

$$W_{\text{н}} = (Bh + mb^2 + 0,25 \cdot i_{3\text{п}} B) \cdot l, \quad (4.4)$$

где  $m$  – заложение откоса насыпи;

$h$  – средняя высота земляного полотна в насыпи

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) - \Delta h, \quad (4.5)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – рабочие отметки в начале и конце участка насыпи длиной  $l$ .

Объем плодородного слоя толщиной  $h_{\text{пс}}$ , снимаемого из-под насыпи

$$W_{\text{пс}} = (B + 2 \cdot m \cdot h) \cdot l \cdot h_{\text{пс}}. \quad (4.6)$$

Общий объем насыпи

$$W_{\text{но}} = W_{\text{н}} + W_{\text{пс}}.$$

При высоте насыпи более 6 м объем насыпи равен:

$$W_{\text{н}} = \left[ Bh + mh^2 + 0,25 \cdot i_{3\text{п}} B^2 + 0,25 \cdot (h + \Delta h - 6)^2 \right] \cdot l.$$

Объем плодородного слоя

$$W_{\text{пс}} = \left[ B + 2m \cdot (6 - \Delta h) + 2(m + 0,25) \cdot (h + \Delta h - 6) \right] \cdot h_{\text{пс}} \cdot l,$$

#### 4.1.2. Определение объемов выемок

Объем выемки (рис. 4.2) протяжением  $l$  вычисляют по формуле

$$W = (B_1 h + m_1 h^2 - 0,25 \cdot i_{3\text{п}} B^2) \cdot l, \quad (4.7)$$

где  $B_1$  – ширина выемки по низу (рис. 4.2);

$i_{3\text{п}}$  – поперечный уклон верха земполотна ( $i_{3\text{п}} = 0,03$ );

$h$  – средняя глубина выемки;

$m_1$  – заложение откосов со стороны местности;

$B$  – расстояние между бровками верха земляного полотна (см. рис. 4.1), вычисляемое по формуле (4.3).

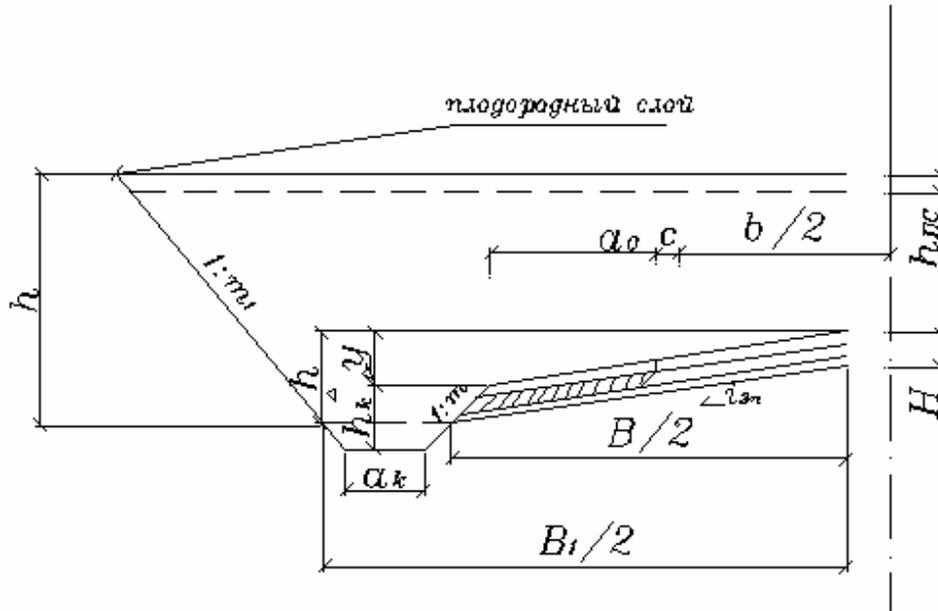


Рис. 4.2. Схема к определению объема выемки

$$B_1 = B + 2 \cdot (m + m_1) \cdot (h_k - \Delta h + \Delta y) + 2a_k, \quad (4.8)$$

где  $m$  – заложение откоса со стороны обочины;

$h_k, a_k$  – глубина и ширина кювета (кювет-резерва).

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) + \Delta y + \Delta h, \quad (4.9)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – рабочие отметки на концах участка выемки длиной  $l$ ;

$\Delta y$  – разность отметок проектной линии и бровки обочины, вычисляется по формуле (3.15);

$\Delta h$  – расстояние от бровки верха земляного полотна до бровки обочины, вычисляется по формуле (4.1).

Объем плодородного слоя, снимаемого до разработки грунта выемки на участке длиной  $l$

$$W_{\text{пс}} = (B_1 + 2 \cdot m_1 \cdot h) \cdot h_{\text{пс}} \cdot l, \quad (4.10)$$

где  $B_1$  – ширина выемки по низу, вычисляется по формуле (4.8);

$h_{\text{пс}}$  – толщина плодородного слоя.

Общий объем выемки

$$W_{\text{во}} = W_{\text{в}} - W_{\text{пс}}.$$

#### 4.1.3. Определение объемов присыпных обочин

В случае насыпей и выемок вычисляют объем присыпных обочин (см. рис. 4.1)

$$W_{\text{по}} = \left[ (h_{01} + h_{02}) \cdot (a - c + mh_{\text{п}}) + mh_{02}^2 - 1.5 \cdot h_{01}^2 \right] \cdot l,$$

где  $h_{01} = h_0 - (i_{\text{п}} - i_{3\text{п}}) \cdot (0.5 \cdot b + c)$ ;

$$h_{02} = h_{01} - (i_0 - i_{3\text{п}}) \cdot (a - c + mh_{\text{п}});$$

$a$  и  $c$  – ширина обочины и укрепительной полосы;

$h_0$  – толщина основания дорожной одежды (см. рис. 4.1);

$h_{\text{п}}$  – толщина покрытия;

$i_0$  – уклон обочины;

$i_{3\text{п}}$  – уклон верха земполотна.

#### 4.1.4. Определение объемов кюветов

В случае выемок вычисляют объемы двух кюветов по формуле

$$W_{\text{к}} = \left[ 2a_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}0} + (m + m_1) \cdot h_{\text{к}0}^2 \right] \cdot l, \quad (4.11)$$

где  $h_{\text{к}0} = h_{\text{к}} - \Delta h + \Delta Y$ ;

$a_{\text{к}}$  – ширина кювета (кювет-резерва);

$h_{\text{к}}$  – глубина кювета (расстояние от бровки до дна кювета);

$\Delta h$  – снижение бровки верха земполотна, определяется по формуле (4.1);

$\Delta Y$  – разность отметок проектной линии и бровки обочины, вычисляется по (3.15);

$m, m_1$  – заложение откосов со стороны обочины и местности;

$l$  – протяжение участка выемки.

При выходе из выемки (на участке низкой насыпи) глубина кювета изменяется от  $h_{\text{к}}$  до 0. Поэтому на таком участке объем кюветов вычисляется по формуле

$$W'_{\text{к}} = \left[ a_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}0} + 0,25 \cdot (m + m_1) \cdot h_{\text{к}0}^2 \right] \cdot l,$$

В случае невысоких насыпей объем одного кювета вычисляют по формуле

$$W_k'' = \left[ a_k \cdot \left( h_k + \Delta Y - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) + 0,5 \cdot (m + m_1) \cdot \left( h_k + \Delta Y - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 \right] \cdot l,$$

где  $h_1, h_2$  – рабочие отметки (высота насыпей) на концах участка дороги длиной  $l$ .

В курсовом проекте объемы земляных работ вычисляют на участке перехода земляного полотна из насыпи в выемку протяжением 300 – 400 м. Пикетное положение точки перехода из насыпи в выемку, а также начала кювета определяется по геометрическим соображениям и далее рассмотрено на примерах.

#### 4.1.5. Примеры вычисления объемов земляных работ

**Исходные данные.** Дорога III технической категории на участке ПК10 – ПК13 проходит по лесу, частично в насыпи и частично в выемке. Рабочие отметки насыпи равны 2,16 и 1,16 м на пикетах 10 + 00 и 11 + 00 и выемки 1.00 и 2.00 соответственно на пикетах 12 + 00 и 13 + 00. Глубина кювета принята равной 1,20 м, ширина по низу 0,4 м. Заложение откосов земляного полотна в насыпи назначено 1 : 4 по условиям безопасности движения. Такое же заложение откоса выемки со стороны обочины. Заложение внешнего откоса выемки (со стороны леса) принято 1 : 1,5 по условиям его устойчивости. Плодородный слой имеет толщину 0,10 м. Дорожная одежда включает покрытие 0,01 м, основание 0,20 м и дренирующий слой толщиной 0,20 м.

Требуется вычислить объемы насыпей, выемок, кюветов, присыпных обочин на данном участке дороги.

Предварительно на основе исходных данных вычерчиваем конструкцию дорожной одежды и земляного полотна в насыпи (рис. 4.3) и вычисляем снижение бровки верха земляного полотна  $\Delta h$  и ширину  $B$ .

Из рисунка 4.3 и формулы (3.15) следует, что

$$\Delta Y = i_o (a - c) + i_n (b + c) = 0,04 (2,50 - 0,50) + 0,02 (3,50 + 0,50) = 0,16 \text{ м.}$$

По формуле (4.2) вычисляем величину  $H_1$  (см. рис. 4.1, 4.3)

$$\begin{aligned} H_1 &= H - (i_n - i_{3п}) (0,5b + c) - (i_o - i_{3п}) (a - c) = \\ &= 0,50 - (0,020 - 0,030) \cdot (3,50 + 0,50) - (0,40 - 0,03) \cdot (2,50 - 0,50) = 0,52 \text{ м.} \end{aligned}$$

Снижение бровки верха земляного полотна определяем по формуле (4.1)

$$\Delta h = H_1 + i_{3п} m H_1 + \Delta Y = 0,52 + 0,03 \cdot 4 \cdot 0,52 + 0,16 = 0,74 \text{ м.}$$

Вычисляем ширину верха земляного полотна по формуле (4.3)

$$B = B_{\text{п}} + 2m (\Delta h - \Delta Y) = 12 + 2 \cdot 4 (0,74 - 0,16) = 16,64 \text{ м.}$$

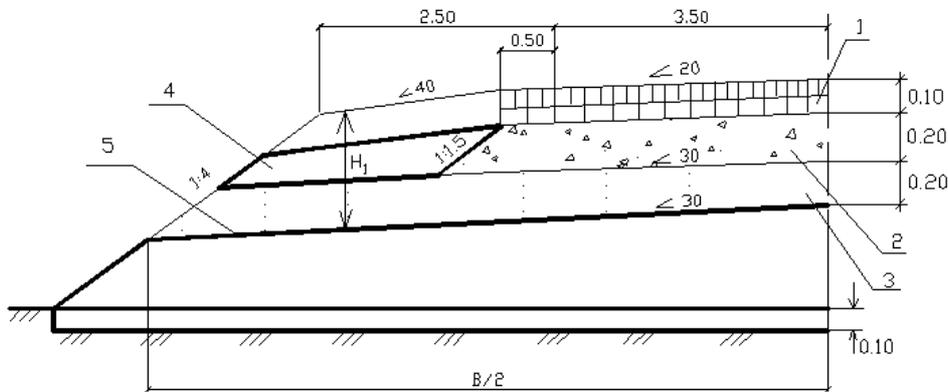


Рис. 4.3. Конструкция дорожной одежды и земляного полотна в насыпи:

- 1 – покрытие; 2 – основание; 3 – дренажный слой;  
4 – присыпная обочина; 5 – верх земляного полотна

**Пример 4.1.** Для приведенных выше исходных данных требуется вычислить объем земляных работ насыпи на участке ПК10 – ПК11+00. Рабочие отметки на ПК10 и на ПК11 соответственно равны 2,16 и 1,16, а снижение их за счет дорожной одежды 0,74 м. Следовательно, земляное полотно на протяжении 100 м является насыпью.

Насыпь на участке ПК10 – ПК11 имеет среднюю высоту (формула (4.5))

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) - \Delta h = 0,5 \cdot (2,16 + 1,16) - 0,74 = 0,92 \text{ м.}$$

На участке ПК10 – ПК11 объем насыпи вычислим по формуле (4.4)

$$\begin{aligned} W_{\text{н}} &= (Bh + mh^2 + 0,25 \cdot i_{3\text{п}} B^2) \cdot l = \\ &= (16,64 \cdot 0,92 + 4 \cdot 0,92^2 + 0,25 \cdot 0,030 \cdot 16,64^2) \cdot 100 = 2060 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Объем плодородного слоя – по формуле (4.6)

$$W_{\text{пс}} = (B + 2 \cdot 4 \cdot h) \cdot h_{\text{пс}} \cdot l = (16,64 + 2 \cdot 4 \cdot 0,92) \cdot 0,10 \cdot 100 = 240 \text{ м}^3.$$

Общий объем насыпи – по формуле (4.7):

$$W_{\text{но}} = W_{\text{н}} + W_{\text{пс}} = 2060 + 240 = 2300 \text{ м}^3.$$

**Пример 4.2.** Для приведенных выше исходных данных требуется вычислить объем насыпи на участке ПК11 – ПК12.

На участке ПК11 – ПК12 происходит переход насыпи в выемку (рис. 4.4). Найдем длину участка насыпи  $l_{\text{н}}$  и выемки  $l_{\text{в}}$ .

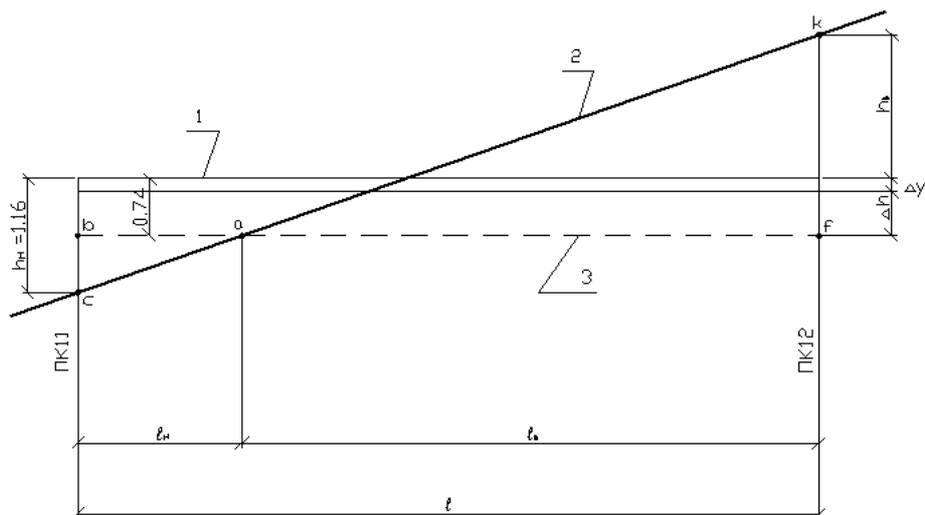


Рис. 4.4. Схема к определению длины участка насыпи  $l_n$  и выемки  $l_b$  на участке ПК11 – ПК12: 1 – проектная линия; 2 – черный профиль; 3 – бровка верха земляного полотна

Длина участка насыпи  $l_n$

$$l_n = l \frac{h_n - \Delta h}{h_n + h_b} = 100 \cdot \frac{1,16 - 0,74}{1,16 + 1,00} = 20 \text{ м.}$$

Длина участка выемки  $l_b$

$$l_b = l \frac{h_b - \Delta h}{h_n + h_b} = 100 \cdot \frac{1,00 - 0,74}{1,16 + 1,00} = 80 \text{ м.}$$

Высота насыпи на ПК 11+20 равна нулю. Средняя высота насыпи на участке РК11+00 – РК11+20 (рис. 4.4) равна:

$$h = 0,5 \cdot (h_n - \Delta h + 0) = 0,5 \cdot (1,16 - 0,74 + 0) = 0,21 \text{ м.}$$

Объем насыпи на участке ПК11+00 – ПК11+20 вычислим по формуле (4.4)

$$W_n = (16,64 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,21^2 + 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 20 = 115 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя определим по формуле (4.6)

$$W_{пс} = (16,64 + 2 \cdot 4 \cdot 0,21) \cdot 0,10 \cdot 20 = 36.$$

Общий объем насыпи

$$W_{но} = 115 + 36 = 151 \text{ м}^3.$$

**Пример 4.3.** Для приведенных выше исходных данных требуется определить объем выемки на участке ПК12 – ПК13.

Для размещения слоев дорожной одежды выемка разрабатывается на глубину, большую средней рабочей отметки на величину  $\Delta h$ . На участке ПК12 – ПК13 средняя глубина выемки по формуле (4.10):

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) + \Delta h = 0,5 \cdot (1,00 + 2,00) + 0,74 = 2,24 \text{ м.}$$

Ширину низа выемки вычислим по формуле (4.10)

$$\begin{aligned} B_1 &= B + 2 \cdot (m_1 + m) \cdot (h_\kappa - \Delta h + \Delta Y) + 2 \cdot a_\kappa = \\ &= 16,64 + 2 \cdot (1,5 + 4) \cdot (1,2 - 0,74 + 0,16) + 2 \cdot 0,4 = 24,26 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Объем выемки на участке ПК12 – ПК13 вычислим по формуле (4.9)

$$\begin{aligned} W_B &= (B_1 \cdot h + 1,5 \cdot h^2 - 0,25 \cdot 0,03 \cdot B^2) \cdot 100 = \\ &= (24,26 \cdot 2,24 + 1,5 \cdot 2,24^2 - 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 100 = 5979 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Объем плодородного слоя – по формуле (4.12)

$$W_{\text{пс}} = (B_1 + 2 \cdot 1,5 \cdot h) \cdot h_{\text{пс}} \cdot L = (24,26 + 3 \cdot 2,24) \cdot 0,10 \cdot 100 = 310 \text{ м}^3.$$

Общий объем выемки на участке ПК12 – ПК13

$$W_{\text{во}} = 5979 - 310 = 5659 \text{ м}^3.$$

**Пример 4.4.** Для приведенных выше исходных данных требуется определить объем выемки на участке ПК11 – ПК12. Из примера 4.2 следует, что переход насыпи в выемку имеет место на ПК11 + 20. Глубина выемки на ПК 11 + 20 равна нулю.

Выемка на участке ПК 11 + 20 – ПК 12 + 00 имеет среднюю глубину (см. рис. 4.4)

$$h = 0,5 \cdot (0 + 1,0 + 0,74) = 0,87 \text{ м.}$$

Объем выемки на участке ПК 11 + 20 – ПК 12 + 00 вычислим по формуле (4.9)

$$W_B = (24,26 \cdot 0,87 + 1,5 \cdot 0,87^2 - 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 80 = 1620 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя на участке ПК 11 + 20 – ПК 12+00 – по формуле (4.11)

$$W_{\text{пс}} = (24,26 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,87) \cdot 0,10 \cdot 80 = 215 \text{ м}^3.$$

Общий объем выемки на участке ПК 11 + 20 – ПК 12 + 00

$$W_{\text{во}} = 1620 - 215 = 1405 \text{ м}^3.$$

**Пример 4.5.** Для приведенных выше исходных данных требуется вычислить объем кюветов на участке ПК10 – ПК13.

По формуле (3.14) вычислим высоту насыпи, при которой начинается кювет:

$$h_{\text{нк}} = h_{\text{к}} + \Delta Y = 1,20 + 0,16 = 1,36 \text{ м.}$$

Так как на ПК11+00 высота насыпи равна 1,16 м, что меньше  $h_{\text{нк}} = 1,36$ , а на пикете 10+00 высота насыпи равна 2,16, что больше  $h_{\text{нк}} = 1,36$ , то кювет начинается на участке насыпи ПК10 + 00 – ПК11 + 00 на расстоянии  $X_{\text{к}}$  от пикета 10+00.

Вычисляем значение  $X_{\text{к}}$  (рис. 4.5) по формуле (3.17):

$$X_{\text{к}} = l \cdot \frac{h_1 - h_{\text{нк}}}{h_1 - h_2} = 100 \cdot \frac{2,16 - 1,36}{2,16 - 1,16} = 80 \text{ м.}$$

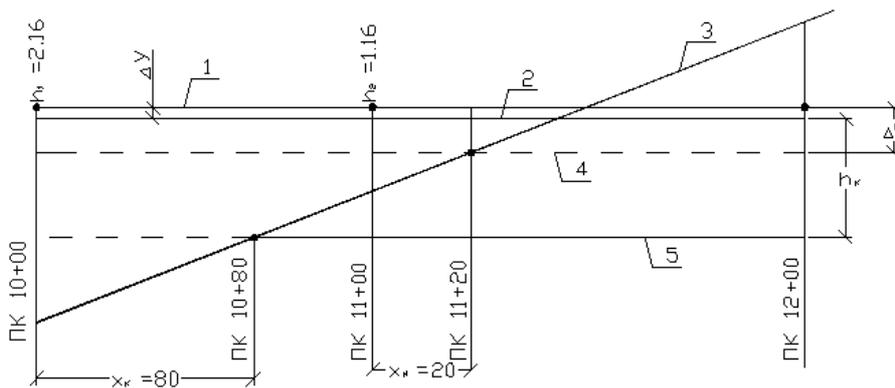


Рис. 4.5. Схема к определению объема кюветов:

- 1 – проектная линия; 2 – бровка обочины; 3 – черный профиль;  
4 – бровка верха земляного полотна; 5 – дно кювета

Таким образом, на участке ПК10 – ПК13 кювет проектируется на протяжении 280 м (от ПК 10+80 до ПК 13+00). Площадь поперечного сечения кювета (см. рис. 4.2) имеет форму трапеции высотой  $h_{\text{к0}} = h_{\text{к}} - \Delta h + \Delta y = 1,2 - 0,74 + 0,16 = 0,62$  м на участке от ПК 11+20 до ПК 13+00. На участке от ПК 11+20 до ПК 10+80 высота трапеции (глубина кювета) уменьшается до нуля. На ПК 11+00 она равна  $h_{\text{к0}} = h_{\text{к}} + \Delta y - h_2 = 1,20 + 0,16 - 1,16 = 0,20$  м.

Среднее значение этой высоты  $0,5 \cdot (0 + 0,20) = 0,10$  на участке ПК 10+80 – ПК 11+00 и  $0,5 \cdot (0,20 + 0,61) = 0,41$  на участке ПК 11+00 – ПК 11+20.

По формуле (4.13) вычислим объем кюветов на участках:

а) ПК 10+80 – ПК 11+20

$$W_k = [2a_k \cdot h_{kl} + (m + m_1) \cdot h_{kl}^2] \cdot l_1 = \\ = [2 \cdot 0,4 \cdot 0,1 + (4 + 1,5) \cdot 0,12^2] \cdot 20 = 2,6 = 3 \text{ м}^3.$$

#### 4.2. Определение объемов планировочных работ

Площади откосов выемок  $A_b$ , насыпей  $A_n$ , дна кюветов  $A_{дн}$ , закюветной полки  $A_{п}$  вычисляются по следующим формулам:

а) выемка

$$A_b = 2 \cdot [l_2 \cdot (\frac{h_1 + h_2}{2} + \Delta Y) + (l_1 + l_2) \cdot h_k] \cdot l;$$

б) насыпь высотой откоса до 6 м

$$A_n = 2 \cdot l_2 \cdot (\frac{h_1 + h_2}{2} - \Delta Y) \cdot l;$$

в) насыпь высотой откоса более 6 м

$$A_n = 2 \cdot [6 \cdot l_2 + (\frac{h_1 + h_2}{2} - \Delta Y - 6) \cdot l_3] \cdot l;$$

г) дно кюветов (кювет-резервов)

$$A_{дн} = 2 \cdot a_k \cdot l;$$

д) закюветных полок

$$A_{п} = 2 \cdot a_{п} \cdot l,$$

где  $h_1, h_2$  – рабочие отметки по концам участка выемки или насыпи длиной  $l$ ;

$\Delta Y$  – разность отметок оси и бровки, определяется по формуле (3.15);

$h_k$  – глубина кювета;

$a_k$  – ширина по дну кювета (кювет-резерва);

$a_{п}$  – ширина закюветной полосы;

$l_1, l_2, l_3$  – длины образующих откоса при высоте откоса, равной 1 м

$$l_1 = \sqrt{1 + m_1^2}; \quad l_2 = \sqrt{1 + m_2^2}; \quad l_3 = \sqrt{1 + (m_2 + 0,25)^2},$$

где  $m_1$  – заложение откоса со стороны обочины;

$m_2$  – заложение откоса со стороны местности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – М.: Транспорт, 1979. – 366 с.
2. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19–2006. – Минск, 2006.
3. Ксеноходов, В.И. Таблицы для проектирования и разбивки кло-тоидной трассы автомобильных дорог / В.И. Ксеноходов. – М.: Транспорт, 1969. – 430 с.
4. Строительная климатология: СНБ 2.04.02 – 2000. – Минск, 2001.



## СОДЕРЖАНИЕ

Состав курсовго проекта .....	3
Введение .....	4
1. Определение основных технических нормативов автомобильной дороги .....	5
1.1. Установление технической категории автомобильной дороги .....	5
1.2. Определение расчетного расстояния видимости .....	5
1.3. Определение радиусов вертикальных и горизонтальных кривых .....	7
1.4. Расчет ширины проезжей части и дорожного полотна .....	9
2. Проектирование закругления малого радиуса .....	12
2.1. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса .....	12
2.2. Проектирование поперечного профиля закругления .....	15
2.3. Проектирование отгона виража на автомобильной дороге с двухполосной проезжей частью .....	17
2.4. Проектирование отгона виража на дорогах I категории .....	34
3. Проектирование участка автомобильной дороги .....	38
3.1. План трассы автомобильной дороги .....	38
3.2. Продольный профиль .....	43
3.3. Поперечные профили земляного полотна .....	64
3.4. Конструкция дорожной одежды .....	66
4. Определение объемов работ .....	68
4.1. Определение объемов земляных работ .....	68
4.2. Определение объемов планировочных работ .....	77
Литература .....	78
Приложение .....	79

*Учебное издание*

КИСЕЛЕВ Валентин Николаевич  
ИВАНОВ Анатолий Анатольевич

## ПРОЕКТ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Методические указания  
к выполнению курсового проекта  
для студентов специальности  
1 - 70 03 01 «Автомобильные дороги»

Редактор *Д. М. Севастьянова*

Подписано в печать 02.09.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 4,64. Уч.-изд. л. 4,12. Тираж 30 экз. Заказ 1133.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/494255 от 08.05.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.