

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

---

**Кафедра геотехники и транспортных коммуникаций**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению курсового проекта № 1  
**«Проект участка автомобильной дороги»**  
для студентов специальности 1-70 03 01  
*«Автомобильные дороги»*

Брест 2011

УДК 625.71.8(075.8)

Целью курсового проекта № 1 является закрепление у студентов принципов обоснования норм на проектирование автомобильной дороги и развитие первичных навыков трассирования по карте и проектирования земляного полотна (продольного и поперечного профиля), определения объемов земляных работ.

В издании приведен состав курсового проекта по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог». Изложена методика выполнения отдельных вопросов проекта, даны рекомендации по его оформлению.

Составители: Н.В. Чумичева, ст. преподаватель;  
Е.С. Климович, ассистент

## 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.

1.2. Определение расчетного расстояния видимости.

1.3. Определение радиусов вертикальных и горизонтальных кривых.

1.4. Расчет ширины проезжей части и земляного полотна.

2. Проектирование закругления малого радиуса (15%).

2.1. Проектирование плана закругления малого радиуса.

2.2. Проектирование поперечного профиля закругления.

2.3. Проектирование отгона виража.

3. Проектирование участка автомобильной дороги (55%).

3.1. План автомобильной дороги.

3.2. Продольный профиль.

3.3. Поперечные профили земляного полотна и проезжей части.

3.4. Конструкция дорожной одежды.

4. Определение объемов работ (20%).

4.1. Определение объемов земляных работ.

4.2. Определение объемов планировочных и укрепительных работ.

Литература.

## ВВЕДЕНИЕ

### Краткая характеристика района проектирования

В пояснительной записке на основе исходных данных, справочной литературы освещаются следующие вопросы: средние температуры наиболее холодного и наиболее жаркого месяца; толщина снежного покрова с вероятностью превышения 5% (привести в таблицах); максимальная глубина промерзания грунтов (80–100 см); макрорельеф местности в районе проектирования и его тип (равнинный, пересеченный); условия поверхностного стока; микрорельеф по трассе и типы местности по характеру поверхностного стока и степени увлажнения; краткая характеристика геологического строения района, почвогрунты, их гранулометрический состав, физико-механические свойства, распространение уровней грунтовых вод, наличие выхода грунтовых вод на поверхность; характеристика существующих дорог (категория, земляное полотно в местах пересечений).

На основании приведенных климатических характеристик строится дорожно-климатический график. Пример графика показан на рисунке 1.1.

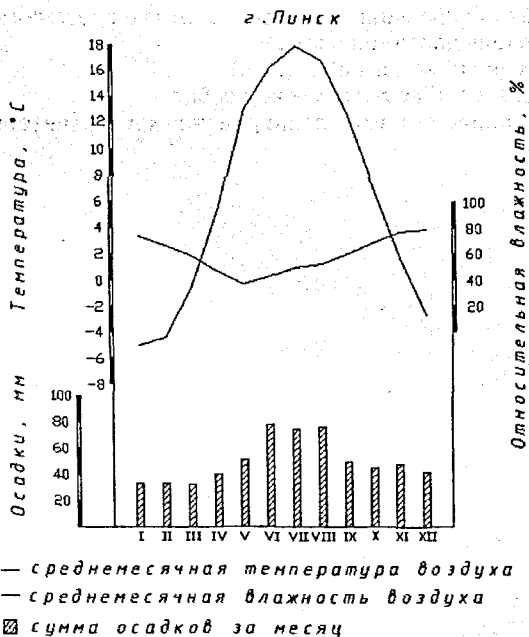


Рисунок 1.1 – Дорожно-климатический график

# 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

## 1.1 Установление технической категории автомобильной дороги

Ориентировочно категория дороги назначается по перспективной интенсивности движения  $N_t$ :

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

где  $N_0$  – начальная интенсивность движения, авт./сут (по заданию);  $p$  – ежегодный прирост интенсивности, % (по заданию);  $t$  – расчетный период ( $t = 20$  лет).

По полученной по формуле (1.1) расчетной интенсивности движения автомобильной категории дороги определяют с помощью таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Определение класса и категории дороги

Класс дороги	Категория дороги	Область применения	Расчетная интенсивность движения, авт./сут		Расчетная скорость, км/ч
			республиканские дороги	местные дороги	
Автомагистраль	I-а	Участки республиканских магистральных дорог протяженностью не менее 150 км с долей транзита в потоке более 50%	Более 8000	-	140
Скоростная автомобильная дорога	I-б	Подходы к крупнейшим городам на расстоянии 40–50 км, к аэропортам, кольцевые дороги вокруг крупнейших городов	Более 10000	-	120
Автомобильные дороги	I-в	В остальных случаях	Более 10000	Более 7000 3000–7000 400–3000	120
	II		5000–10000		120
	III		2000–5000		100
	IV		200–2000		80
Автомобильные дороги низких категорий	V	До 200		60	
	VI-а	Подъезды к малым сельским поселениям	-	25-50	40
VI-б	-		До 25	30	

## 1.2 Определение расчетного расстояния видимости

Расчетное расстояние видимости определяют по четырем схемам:

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

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

$$S_1 = V_p \cdot t_p / 3,6 + K_3 \cdot V_p^2 / [254(\phi_1 - i)] + l_{\text{ав}}, \text{ м}, \quad (1.2)$$

где  $V_p$  – расчетная скорость движения автомобиля для дороги принятой технической категории, принимается по таблице 4 [1];  $t_p$  – 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;  $\phi_1$  – коэффициент продольного сцепления ( $\phi_1 = 0,4–0,5$ );  $i$  – продольный уклон участка дороги, равный макси-

мально допустимому для принятой категории дороги [1];  $l_{зб}$  – зазор безопасности между автомобилем и препятствием ( $l_{зб} = 5$  м).

Таблица 1.2 – Нормативные характеристики автомобильных дорог

Категория дороги	I-а	I-б, I-в, II	III	IV	V
Расчетная скорость, км/ч (основная)	140	120	100	80	60
$R_{вып\ мин}$ , м	25000	15000	8000	4000	1500
$R_{вог\ мин}$ , м	8000	6000	4000	2500	1500
Уклон $i_{max}$ , ‰	40	40	50	60	70

*Примечание:* в стесненных условиях допускается проектировать отдельные участки дорог с допускаемыми расчетными скоростями, меньшими приведенных в таблице 1.2 на 20 км/ч.

По второй схеме расчетное расстояние видимости встречного автомобиля равно:

$$S_2 = V_p \cdot t_p / 1,8 + K_3 \cdot \varphi_1 \cdot V_p^2 / 127(\varphi_1^2 - i^2) + l_{зб}, \text{ м.} \quad (1.3)$$

По схеме обгона расчетное расстояние видимости вычисляют по формуле:

$$S_3 = V_1^2 / [1,8(V_1 - V_2)] + K_3 \cdot V_1(V_1 + V_2) / (127 \cdot \varphi_1) + [K_3 \cdot V_2^2 / (254 \cdot \varphi_1) + l_{зб}] \cdot 2V_1 / (V_1 - V_2), \text{ м.} \quad (1.4)$$

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 вычисляют по формуле:

$$S_{бок} = 2 \cdot S_1 \cdot V_n / V_p, \text{ м,} \quad (1.5)$$

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.

Полученное значение расчетного расстояния видимости  $S_1$  и  $S_{бок}$  сопоставляется с нормами [1] 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 определяют из условия обеспечения видимости поверхности дороги:

$$R_{вып, \min} = 0,5(S_1)^2 / (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2, \text{ м,} \quad (1.6)$$

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 вычисляют по условию обеспечения безопасного обгона:

$$R_{вып, \text{рек}} = 0,5(S_3)^2 / (\sqrt{h_1} + \sqrt{H})^2, \text{ м,} \quad (1.7)$$

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 определяем из условия недопущения перегрузки рессор:

$$R_{\text{вог, мин}} = V^2 / (13a_0), \text{ м}, \quad (1.8)$$

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 определяют из условия обеспечения видимости дороги ночью:

$$R_{\text{вог, рек}} = 0,5(S_1)^2 / [h_{\phi} + S_1 \sin(a/2)], \text{ м}, \quad (1.9)$$

где  $S_1$  – принятое расчетное расстояние видимости поверхности дороги;  $h_{\phi}$  – возвышение центра фары над поверхностью дороги, (в курсовом проекте принять  $h_{\phi} = 0,8$  м);  $a$  – угол рассеивания пучка света фар:  $a = 2^\circ$ .

Вычисленные по формулам (1.6)–(1.9) значения радиусов округляют с точностью до 500 м в большую сторону, сопоставляют с нормами [1] (табл. 1.2). Для дальнейших расчетов принимают большие значения радиусов вертикальных кривых.

### 1.3.2 Горизонтальные кривые

Минимальный радиус горизонтальной кривой вычисляют для случаев односкатного (виража) и двухскатного поперечных профилей проезжей части по формуле:

$$R_{\text{мин}} = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_n)}, \text{ м}, \quad (1.10)$$

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

$$\mu = 0,2 - 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot V, \quad (1.11)$$

где  $i_n$  – 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 [1] 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 (1.10) значения радиусов округляют в большую сторону с точностью до 5 м. Минимальный радиус кривых в плане в случае виража ( $i = i_n$ ) принимается равным полученному по формуле (1.10).

### 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 [1] 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 грузовых автомобилей или автобусов

$$b = a_k + c_k + z_b + z_{k1} + z_{k2}, \text{ м.} \quad (1.12)$$

где  $a_k$ ,  $c_k$  – ширина кузова и колея грузового автомобиля или автобуса, принимают по приложению Б;  $z_b$  – зазор безопасности между кузовами встречных автомобилей или автобусов, зависит от скорости движения встречных автомобилей  $V_1$  и  $V_2$ :

$$z_b = 0,3 + 0,1 \cdot \sqrt{V_1 + V_2}, \text{ м.}$$

$z_{k1(2)}$  – расстояние от оси следа колеса до края проезжей части:

$$z_{k1(2)} = \sqrt{0,1 + 0,0075 \cdot V_{1(2)}}, \text{ м.}$$

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:

$$b = \frac{a_k + c_k}{2} + \frac{a_k + c_k}{2} + z_0 + z_{k1} + z_{k2}, \text{ м.} \quad (1.13)$$

где  $z_0$  – зазор безопасности между кузовами автомобилей при обгоне:

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

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

Таблица 1.3 – Геометрические характеристики автомобильных дорог

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	2 + с	2 + с	-	-	-	-
разделительной полосы, м,	0,75	0,50	-	-	-	-
в том числе укрепленной полосы	28,5	25				
Ширина дорожного полотна	36,0	32	13	12	10	8

Примечание: с – ширина ограждения (в курсовом проекте может быть принята равной 1,0 м).



Полученные по формулам (1.12) и (1.13) значения ширины проезжей части двухполосных дорог сопоставляют с нормами. В случае значительного превышения ширины проезжей части, вычисленной по формулам (1.12) и (1.13), по сравнению с требованиями норм, 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  $z_k$  (формула (1.13)) 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 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 1.3.

Ширина дорожного полотна двухполосных дорог равна ширине проезжей части и двух обочин и приведена в таблице 1.3.

Этот раздел проекта заканчивают таблицей технических параметров проектируемой дороги (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Технические параметры проектируемой дороги

№ пп	Наименование технических показателей	Измеритель	Получено по расчетам	По нормам	Принято для проектирования
1.	Расчетная скорость	км/ч			
2.	Нагрузка на одиночную ось	кН			
3.	Ширина проезжей части	м			
4.	Ширина обочины	м			
5.	Ширина укр. полосы обочины	м			
6.	Ширина дорожного полотна	м			
7.	Поперечный уклон проезжей части	‰			
8.	Поперечный уклон обочины	‰			
9.	Максимальный продольный уклон	‰			
10.	Расстояние видимости, м $S_1$ $S_2$ $S_3$ $S_{бок}$	м			
11.	Радиусы горизонтальных кривых: $R_{min}$ $R_{рек}$	м			
12.	Радиусы вертикальных кривых: выпуклых $R_{min}$ $R_{рек}$ вогнутых $R_{min}$ $R_{рек}$	м			

## 2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ МАЛОГО РАДИУСА

При проектировании автомобильных дорог переломы трассы в плане смягчают, вписывая в углы поворота кривые. Кривые в плане делятся на три типа:

- круговые;
- с переходными кривыми и круговой вставкой;
- клотоидные.

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.

### 2.1 Проектирование кругового закругления

Круговое закругление имеет следующие элементы: тангенс, кривую, биссектрису, домер. Длина элементов закругления определяется по следующим формулам:

$$\text{тангенс:} \quad T = R \operatorname{tg} \alpha / 2 \quad (2.1)$$

$$\text{кривая:} \quad K = \frac{\pi R \alpha}{180}; \quad (2.2)$$

$$\text{биссектриса:} \quad B = R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right); \quad (2.3)$$

$$\text{домер} \quad D = 2T - K, \quad (2.4)$$

где  $R$  – радиус кривой;  $\alpha$  – угол поворота трассы.

Главными точками кругового закругления являются: начало кривой НК, середина кривой СК и конец кривой КК.

$$\text{ПК НК} = \text{ПК ВУП} - T; \quad (2.5)$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК НК} + 0,5K; \quad (2.6)$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК НК} + K, \quad (2.7)$$

где ПК ВУП – пикетное положение вершин угла поворота.

Контроль расчета пикетажа главных точек выполняют по формуле:

$$\text{ПК КК} = \text{ПК ВУП} + T - D. \quad (2.8)$$

Для детальной разбивки круговых кривых определяются прямоугольные координаты: абсцисса  $x$  и ордината  $y$ .

Координаты вычисляют по формулам:

$$x = R \sin \beta; \quad (2.9)$$

$$y = R (1 - \cos \beta); \quad (2.10)$$

или

$$x = R \sin \left( \frac{S}{R} \cdot \frac{180}{\pi} \right); \quad (2.11)$$

$$y = R \left[ 1 - \cos \left( \frac{S}{R} \cdot \frac{180}{\pi} \right) \right], \quad (2.12)$$

где  $\beta$  – центральный угол искомой кривой;  $S$  – расстояние от начала координат до данной точки кривой.

## 2.2 Проектирование плана трассы закругления малого радиуса

Схема закругления малого радиуса представлена на рисунке 2.1.

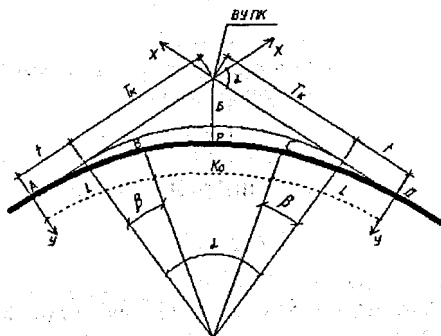


Рисунок 2.1 – Элементы закругления с симметричными переходными кривыми

Проектирование плана закругления малого радиуса ведут в следующей последовательности.

Вычисляют длину переходной кривой  $L$ :

$$L = \frac{V^3}{47 \cdot J \cdot R}, \text{ м.} \quad (2.13)$$

где  $V$  – расчетная скорость для дороги принятой категории, км/ч;  $J$  – допускаемая скорость нарастания бокового ускорения,  $\text{м/с}^3$ , 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 (по заданию).

Полученные по (2.13) значения  $L$  сопоставляют с минимальными по нормам проектирования [1] (таблица 2.1). Для дальнейшего расчета принимают большее значение длины переходной кривой.

Таблица 2.1 – Наименьшая длина переходных кривых

Радиусы круговых кривых, м	Наименьшие длины переходных кривых, м, для дорог категорий			
	I-а	I-б, I-в, II, III	IV-V с дорожной одеждой усовершенствованного типа	IV-V с дорожной одеждой переходного типа
1	2	3	4	5
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

Продолжение таблицы 2.1

100	-	-	70	70
60	-	-	60	60
50	-	-	50	-
30	-	-	40	-

Далее находят угол  $\beta$  (рисунок 2.1), на который уменьшается круговая кривая при вписывании одной переходной кривой:

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

Проверяют условие возможности разбивки закругления с переходной кривой:

$$\alpha \geq 2 \cdot \beta, \quad (2.14)$$

где  $\alpha$  – угол поворота трассы (по заданию).

Если условие (2.14) не выполнено, то следует изменить длину переходной кривой или угол поворота трассы.

Вычисляют длину круговой кривой  $K_0$ :

$$K_0 = R \cdot \pi \cdot (\alpha - 2\beta) / 180, \text{ м.} \quad (2.15)$$

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 рисунке 2.1) и в конец второй (т.  $D$ ).

Координаты переходной кривой:

$$X = S - S^3 / (40A^4); \quad Y = S^3 / (6A^2) - S^5 / (336A^6), \quad (2.16)$$

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 сдвигу  $p$  переходной кривой:

$$t = X_a - R \sin \beta; \quad p = Y_a - R (1 - \cos \beta), \quad (2.17)$$

где  $X_a$  и  $Y_a$  – координаты конца переходной кривой, которые определяют по формуле (2.16), принимая  $S = L$ .

Вычисляют тангенс  $T$  и домер  $D$ :

$$T = (R+p) \operatorname{tg}(\alpha/2); \quad (2.18)$$

$$D = 2(T+t) - (2L+K_0). \quad (2.19)$$

Пикетное положение основных точек закругления определяют по формулам:

т.  $A$  (начало закругления)  $HЗ = ПК ВУ - (T + t)$ ;

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 таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры закругления малого радиуса

Характеристика закругления на пикете ...+...							
$\alpha$	$R$	$L$	$T$	$t$	$K_0$	$D$	$HЗ$
							$CЗ$
							$KЗ$

Для выноски переходной кривой вычисляют координаты  $X$  и  $Y$  по формулам (2.16), а для выноски круговой кривой (до ее середины) по следующим формулам:

$$\begin{cases} x = t + R \sin[\beta + (S - L)180 / (R\pi)], \text{ м;} \\ y = p + R - R \cos[\beta + (S - L)180 / (R\pi)], \text{ м.} \end{cases} \quad (2.20)$$

где  $t, p$  – смещение и сдвигка, вычисленные по формулам (2.17);  $S$  – расстояние от начала закругления до рассматриваемой точки на круговой кривой.

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

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

Таблица 2.3 – Детальная разбивка закругления малого радиуса

Пикетное положение точки	Расстояние до точки	Координаты		Применение
		$x$	$y$	
НЗ «+»	0,00	0,00	0,00	

### 2.3 Проектирование поперечного профиля закругления

Элементы поперечного профиля принимают в соответствии с категорией дороги (таблица 1.3), 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 – Величина уширения проезжей части

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 – Радиусы кривизны

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

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

Максимальный уклон виража  $i_b$  определяется по формуле:

$$i_b = \frac{V^2}{127 \cdot R} - \mu, \quad (2.21)$$

где  $V$  – расчетная скорость движения автомобиля для заданной категории дороги, км/ч;  $R$  – радиус круговой кривой, м;  $\mu$  – коэффициент поперечной силы, определяется по формуле (1.11).

Полученный по формуле (2.21) уклон виража сопоставляется с требованиями норм [1], 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  $i_b = i_n$ .

Таблица 2.6 – Минимальные радиусы круговых кривых в зависимости от уклона виража

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.

## 2.4 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  $i_b$ . Возможны два случая:

$$1) i_b = i_n;$$

$$2) i_b > i_n.$$

### 2.4.1 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 (рисунок 2.2). 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.

Начало и конец первого участка первого и второго отгонов виража определяются по формулам:

$$PK(HO1) = H3 + S_1 - L_1, \quad (2.22)$$

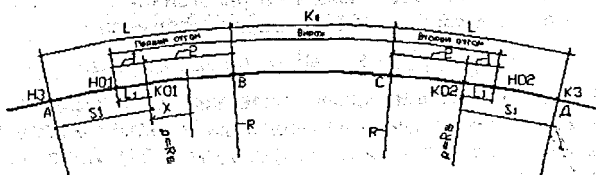
где  $H3$  – пикетное положение начала закругления;  $S_1$  – длина части переходной кривой от ее начала до точки с радиусом кривизны 2000 м на дорогах II, III, IV категорий, 1000 м – на дорогах V категории

$$S_1 = L \cdot R / R_0,$$

где  $R$  – радиус круговой кривой, следующей за переходной;  $R_0$  – 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;  $L_1$  – минимальная длина отгона виража, определяется по формуле:

$$L_1 = b \cdot i_n / i_d, \quad (2.23)$$

где  $b$  – ширина двухполосной проезжей части дорог II-V категорий;  $i_n$  – поперечный уклон проезжей части;  $i_d$  – дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, равный 5‰ для дорог I-IV категорий и 10‰ для дороги – V категории.



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

**Рисунок 2.2 – Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае, если  $i_d > i_n$**

Если  $S_1 < L_1$ , определенной по формуле (2.23), то следует принимать  $S_1 = L_1$ . Пикетное положение начала второго отгона виража НО2 (рисунок 2.2)

$$ПК(НО2) = КЗ - S_1 + L_1, \quad (2.24)$$

где КЗ – пикетное положение конца закругления.

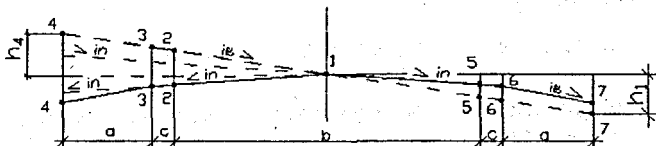
Пикетное положение конца первого отгона виража определяется по формуле:

$$ПК(КО1) = НЗ + S_1, \quad (2.25)$$

а второго отгона – по формуле:

$$ПК(КО2) = КЗ - S_1. \quad (2.26)$$

Начало и конец первого участка первого и второго отгонов виража определяются по формулам (2.22, 2.24-2.26). На отгонах виража вычисляют относительные отметки основных линий дорожного полотна (рисунок 2.3) (кромки проезжей части, кромок укреплительных 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).



1 – ось дороги; 2, 5 – внешняя и внутренняя кромки проезжей части; 3, 6 – кромки укреплительных полос; 4, 7 – внешняя и внутренняя бровки обочины

**Рисунок 2.3 – Линии поперечного профиля дорожного полотна**

На первом участке отгона виража относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляют по следующей методике.

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

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

$$h_1^0 = 0; h_2^0 = h_5^0 = -i_n b_1; h_3^0 = h_6^0 = -i_n(b_1 + c); h_4^0 = h_7^0 = h_3^0 - i_0(a - c), \quad (2.27)$$

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 (рисунок 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:

$$h_1^{k1} = 0; h_2^{k1} = i_n b_1; h_3^{k1} = i_n(b_1 + c); h_4^{k1} = h_3^{k1}(a - c). \quad (2.28)$$

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 (2.27). 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:

$$h_2^i = h_2^0 + i_d \cdot l_i. \quad (2.29)$$

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:

$$h_3^i = h_2^i / b_1(b_1 + c); h_4^i = h_2^i / b_1(b_1 + a). \quad (2.30)$$

На втором участке отгона виража дополнительный уклон внешней кромки проезжей части

$$i_{n2} = b_1(i_n - i_n) / L_2, \quad (2.31)$$

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  $i_n > i_n$  и радиусе круговой кривой более 500 м*

В этом случае уширение проезжей части не предусматривается.

Относительные отметки конечного поперечника второго участка вычисляются по формулам:

$$h_1^{k2} = 0; h_2^{k2} = i_n b_1; h_3^{k2} = i_n(b_1 + c); h_4^{k2} = i_n(a + b_1); \quad (2.32)$$



$$h_5^{k2} = -i_n \cdot b_1; h_6^{k2} = -i_n(b_1 + c); h_7^{k2} = -i_0(a + b_1). \quad (2.33)$$

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

Вычисляется относительная отметка внешней кромки проезжей части:

$$h_2^x = h_2^{k1} + i_{A2} \cdot x, \quad (2.34)$$

где  $h_2^{k1}$  — относительная отметка внешней кромки проезжей части конечного поперечника КО1 первого участка отгона выража, определенная по формуле (2.28);  $i_{A2}$  — дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, вычисленный по формуле (2.31);  $x$  — расстояние от начала второго участка до рассматриваемого поперечника.

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

$$i_x = h_3^x / b_1; \quad (2.35)$$

$$h_3^x = i_x(b_1 + c); \quad h_4^x = i_x \cdot (a + b_1); \quad (2.36)$$

$$h_5^x = -i_x \cdot b_1; \quad h_6^x = -i_x(b_1 + c); \quad h_7^x = h_6^x - i_0(a - c). \quad (2.37)$$

*Проектирование отгона выража при  $i_n > i_n$  и радиусе круговой кривой 500 м и менее*

Отгон выража 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  $e$  (табл. 2.4) на втором участке отгона выража.

Уширение проезжей части начинается при радиусе кривизны плана трассы, равном 500 м, на расстоянии  $S_0$  от начала переходной кривой длиной  $L$ :

$$S_0 = L \cdot R / 500. \quad (2.38)$$

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

$$ПК(ОУ1) = НЗ + S_0 - 20, \quad (2.39)$$

для второго отгона

$$ПК(ОУ2) = КЗ - S_0 + 20. \quad (2.40)$$

Величина уширения проезжей части на участке отгона уширения вычисляется по формуле:

$$e_x = y \cdot e / 20, \quad (2.41)$$

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 выража вычисляются по формулам (2.32), (2.34), (2.36).

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

$$\begin{aligned} h_5^{k^2} &= -i_0(b_1 + e_x); \quad h_6^{k^2} = -i_0(b_1 + e_x + c); \\ h_7^{k^2} &= h_6^{k^2} - i_0(a - e_x - c); \end{aligned} \quad (2.42)$$

на промежуточных поперечниках – по формулам:

$$\begin{aligned} h_5^x &= -i_x(b_1 + e_x); \quad h_6^x = -i_x(b_1 + e_x + c); \\ h_7^x &= h_6^x - i_0(a - e_x - c), \end{aligned} \quad (2.43)$$

где  $i_x$  вычисляют по формуле (2.35).

#### 2.4.2 Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража двухполосных дорог

В курсовом проекте значения относительных отметок первого и второго отгонов виража сводят в таблицу (таблица 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 (таблица 2.8 пример п. 2.4.3).

#### 2.4.3 Пример 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 ПК10+40,50, конец закругления на ПК14+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  $i_n = 20\%$ , обочин  $-i_0 = 40\%$ .

#### Решение

Так как  $i_n > i_0$ , 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 (2.23):

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

Определяется расстояние  $S_1$  до точки, в которой радиус кривизны равен 2000 м.

$$S_1 = 170 - 600/2000 = 51 \text{ м.}$$

По формулам (2.22) и (2.24) вычисляется пикетное положение начала первого и второго отгонов:

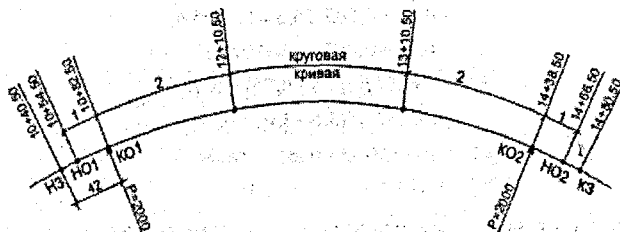
$$\text{ПК}(\text{HO1}) = 10+40,50+51-28 = 10+63,50;$$

$$\text{ПК}(\text{HO2}) = 14+80,50-51+28 = 14+57,50;$$

$$\text{ПК}(\text{КО1}) = 10+40,5+51 = 10+91,50;$$

$$\text{ПК}(\text{КО2}) = 14+80,50-51 = 14+29,50.$$

Таким образом, первый участок первого отгона располагается на протяжении от ПК10+63,50 до ПК10+91,50, а первый участок второго отгона – на протяжении от ПК14+57,50 до ПК14+29,50 (рисунок 2.4).



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

Рисунок 2.4 – Схема к примеру 2.1

### Первый отгон виража

Рассмотрим *первый участок первого отгона виража* от ПК10+63,50 до ПК10+91,50 и вычислим превышения линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечниках 0, 1, 2, 3, 4 в начале участка, на ПК10+70, на ПК10+80, на ПК10+90 и ПК10+91,50 относительно оси проезжей части (относительно линии 1, рисунок 2.3). Дополнительный уклон линии 2 равен 5‰.

Исходный поперечник № 0 (ПК10+63,50).

По формуле (2.27) вычисляется относительные отметки линий:

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

$$h_5^0 = -0,07 \text{ м};$$

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

$$h_6^0 = -0,085 \text{ м};$$

$$h_4^0 = -0,085 - 0,040(3,00 - 0,75) = -0,175 \text{ м};$$

$$h_7^0 = -0,175 \text{ м}.$$

Поперечник № 1 (ПК10+70) расположен на расстоянии 6,5 м от поперечника № 0.

Вычислим отметку линии 2 по формуле (2.29), зная ее уклон (5‰) и расстояние от предыдущего поперечника (6,5 м):

$$h_2^1 = -0,07 + 0,005 \cdot 6,5 = -0,0375.$$

Вычислим отметку линий 3 и 4 (рисунок 2.3), исходя из поперечного уклона внешней полосы проезжей части, пользуясь формулами (2.30):

$$h_3^1 = (-0,0375/3,50) \cdot (3,50 + 0,75) = -0,0455 \text{ м};$$

$$h_4^1 = (-0,0375/3,50) \cdot (3,50 + 3,00) = -0,078 = -0,0696 \text{ м}.$$

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

Поперечник № 2 (ПК10+80) от исходного поперечника (ПК10+63,50) находится на расстоянии 16,5 м. По формуле (2.29) вычисляем относительную отметку кромки проезжей части (линии 2, рисунок 2.3):

$$h_2^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 16,5 = 0,0125 \text{ м.}$$

По формулам (2.30) вычисляем отметки линий 3 и 4 (рисунок 2.3):

$$h_3^2 = (0,0125 / 3,5) \cdot (3,5 + 0,75) = 0,015 \text{ м;}$$

$$h_4^2 = (0,0125 / 3,5) \cdot (3,5 + 3,0) = 0,023 \text{ м.}$$

Аналогичным образом вычислим относительные отметки на поперечниках № 3 (ПК10+90) и № 4 (ПК10+91,50):

$$h_2^3 = -0,07 + 0,005 \cdot 26,5 = 0,0625 \text{ м;}$$

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

$$h_3^3 = 0,0625 / 3,5 (3,5 + 0,75) = 0,076 \text{ м;}$$

$$h_3^4 = 0,0625 / 3,5 (3,5 + 3,0) = 0,116 \text{ м;}$$

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

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

Для контроля вычислим относительные отметки линий 2, 3 и 4 по формуле (2.27):

$$h_2^4 = 0,02 \cdot 3,5 = 0,07 \text{ м;}$$

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

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

Рассмотрим *второй участок первого отгона виража* (от ПК10+91,50 до ПК12+40,50) протяжением 119 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 (2.31):

$$i_2 = 0,5 \cdot 7,0 \cdot (0,050 - 0,020) / 119 = 0,00088.$$

Необходимо определить относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 (рисунок 2.3) на поперечниках № 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17, расположенных соответственно на пикетах 11+00; 11+10; 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 (ПК11+00) расположен на расстоянии 8,50 м от конца первого участка отгона виража. По формуле (2.34) вычислим относительную отметку линии 2 (внешней кромки проезжей части) и по формулам (2.36), (2.37) — линий 3, 4, 5, 6, 7:

$$h_2^5 = 0,07 + 0,00088 \cdot 8,50 = 0,077 \text{ м;}$$

$$h_2^5 = -h_2^5 = -0,077 \text{ м;}$$

$$h_3^5 = (0,077 / 3,50) \cdot (3,5 + 0,75) = 0,094 \text{ м;}$$

$$h_3^5 = -0,094 \text{ м;}$$

$$h_4^5 = (0,077 / 3,50) \cdot (3,50 + 3,0) = 0,143 \text{ м;}$$

$$h_4^5 = -0,094 - 0,04 \cdot (3,0 - 0,75) = -0,184 \text{ м.}$$

Поперечник № 6 (ПК11+10) расположен на расстоянии 18,5 м от начала второго участка:

$$h_2^6 = 0,07 + 0,00088 \cdot 18,5 = 0,0863 \text{ м;}$$

$$h_2^6 = -h_2^6 = -0,086 \text{ м;}$$

$$h_3^5 = (0,0863/3,5) \cdot (3,5 + 0,75) = 0,105 \text{ м}; \quad h_6^5 = -0,105 \text{ м};$$

$$h_4^5 = (0,0863/3,5) \cdot (3,5 + 3,0) = 0,16 \text{ м}; \quad h_7^5 = -0,105 - 0,04(3,0 - 0,75) = -0,195 \text{ м}.$$

Аналогичным образом вычисляем относительные отметки на остальных поперечниках. На последнем поперечнике № 17 (ПК12+10,5) для контроля вычисляем относительные отметки также по формуле (2.32):

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

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

$$h_4^{17} = 0,05 \cdot 6,5 = 0,315 = 0,32 \text{ м}; \quad h_7^{17} = -0,21 - 0,04(3,0 - 0,75) = -0,30 \text{ м}.$$

### Второй отгон виража

На первом участке *второго отгона виража* (от ПК14+57,50 до ПК14+29,50) рассмотрим поперечники № 0 (ПК14+57,50), № 1 (ПК14+50), № 2 (ПК14+40), № 3 (ПК 14+30) и № 4 (ПК14+29,50) (рисунок 2.4).

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 (рисунок 2.4) на начальном поперечнике № 0 (ПК14+57,50) и конечном № 4 (ПК14+29,50) равны относительным отметкам этих линий первого участка первого отгона виража на поперечниках № 0 (ПК10+63,50) и № 4 (ПК10+91,50). Относительные отметки линий 2 вычислим по формуле (2.29), принимая  $l_i$  равным 2,5 м для поперечника № 1, 12,5 м для поперечника № 2 и 22,5 м для поперечника № 3. По формулам (2.30) определим отметки линий 3 и 4 на поперечниках № 1, 2 и 3:

$$h_2^1 = -0,07 + 0,005 \cdot 2,5 = -0,0575 \text{ м}; \quad h_3^1 = (-0,0075/3,5) \cdot 4,25 = -0,009 = 0,01 \text{ м};$$

$$h_2^2 = -0,07 + 0,005 \cdot 12,5 = -0,0075 \text{ м}; \quad h_4^2 = (-0,0075/3,5) \cdot 6,5 = -0,0139 = 0,01 \text{ м};$$

$$h_3^3 = -0,07 + 0,005 \cdot 22,5 = 0,0425 \text{ м}; \quad h_5^3 = (0,0425/3,5) \cdot 4,25 = 0,0516 \text{ м} = 0,05 \text{ м};$$

$$h_4^4 = -0,07 + 0,005 \cdot 28 = 0,07 \text{ м}; \quad h_6^4 = (0,0425/3,5) \cdot 6,5 = 0,079 = 0,08 \text{ м};$$

$$h_5^1 = (-0,0575/3,5) \cdot 4,25 = -0,0698 \text{ м}; \quad h_7^4 = (0,07/3,5) \cdot 4,25 = 0,085 \text{ м};$$

$$h_4^1 = (-0,0575/3,5) \cdot 6,5 = -0,1068 = -0,11 \text{ м}; \quad h_4^4 = (0,07/3,5) \cdot 6,5 = 0,13 \text{ м};$$

*Второй участок второго отгона виража* (рисунок 2.4) протяжением 119 м (от ПК14+29,50 до ПК13+10,50) имеет дополнительный уклон внешней кромки 0,00088 аналогично второму участку первого отгона.

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 на поперечниках № 5-17, расположенных на пикетах 14+29,5-13+10,5, вычислим по формулам (2.33), (2.36), (2.37).

Поперечник № 5 (ПК14+20) расположен на расстоянии 9,5 м от начала второго участка второго отгона:

$$h_2^5 = 0,07 + 0,00088 \cdot 9,5 = 0,07836 \text{ м}; \quad h_5^5 = -0,078 \text{ м};$$

$$h_3^5 = (0,07836/3,5) \cdot 4,25 = 0,095 \text{ м}; \quad h_6^5 = -0,095 \text{ м};$$

$$h_4^5 = (0,07836/3,5) \cdot 6,5 = 0,145 \text{ м}; \quad h_7^5 = -0,095 - 0,04 \cdot 2,25 = -0,185 \text{ м}.$$

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.

Таблица 2.7 – Относительные отметки отгона виража

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)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Первый отгон виража										
первый	10	63,5	90,23	-0,07	-0,085	-0,175	-0,07	-0,085	-0,175	
	10	70	90,295	-0,0375	-0,0455	-0,0696	-0,0375	-0,0455	-0,0696	
	10	80	90,395	0,0125	0,015	0,023	-0,125	-0,015	-0,023	
	10	90	90,495	0,0625	0,076	0,085	-0,0625	-0,076	-0,085	
второй	10	91,5	90,51	0,07	0,116	0,13	-0,07	-0,116	-0,13	
	11	00	90,595	0,077	0,094	0,143	-0,077	-0,094	-0,184	
	11	10	90,695	0,086	0,105	0,16	-0,086	-0,105	-0,195	
	12	10,5	91,70	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Второй отгон виража										
Р	В	13	10,5	92,70	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
второй	...	14	20	93,795	0,078	0,095	0,146	-0,078	-0,095	-0,185
	...	14	29,5	93,89	0,07	0,085	0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	14	57,5	94,17	-0,07	-0,085	-0,13	-0,07	-0,085	-0,18
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	

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:

$$H_2^6 = 90,595 + 0,077 = 90,672 \text{ м}; \quad H_5^6 = 90,595 + (-0,077) = 90,518 \text{ м};$$

$$H_3^6 = 90,595 + 0,094 = 90,689 \text{ м}; \quad H_6^6 = 90,595 - 0,094 = 90,501 \text{ м};$$

$$H_4^6 = 90,595 + 0,143 = 90,738 \text{ м}; \quad H_7^6 = 90,595 - 0,184 = 90,411 \text{ м}.$$

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

Таблица 2.8 – Абсолютные отметки отгона виража

Положение поперечника		Отметки линий, м						
		Ось	внешняя			внутренняя		
			кромка		бровка	кромка		бровка
ПК	+	проезж. части	укреп. полосы	проезж. части		укреп. полосы		
...	...	90,595	90,672	90,689	90,738	90,518	90,501	90,411
...	...	...	...	...	...	...	...	...

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

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

#### 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. Для этого карту местности увеличивают с помощью множительной техники и используют в качестве черновика.

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  $60^\circ$ .

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 Проложение 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 (рисунок 3.1).

После этого измеряют углы поворота трассы ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ) в местах изменения направления прямых, расстояние между вершинами углов ( $P_2, P_3$ ), расстояние от начала хода трассы до ближайшей вершины ( $P_1$ ) (точка А) и расстояние от конца (точка В) участка трассы до ближайшей вершины ( $P_4$ ), а также биссектрисы закруглений  $B_1, B_2, B_3$ .

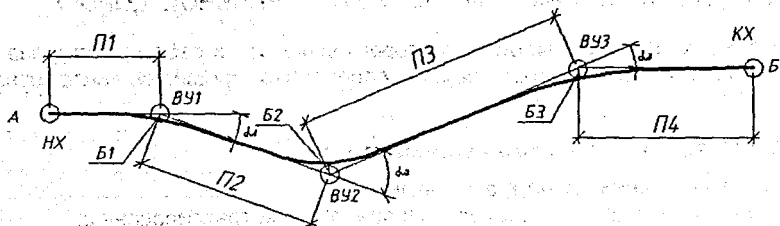


Рисунок 3.1 – Схема замены криволинейного плана трассы ломаным очертанием

### 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 накладок 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  $\alpha_i$ :

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

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  $R_{B_i}$  по формуле (3.1).

Длины переходных кривых на закруглениях малого радиуса назначают в соответствии с таблицей 2.1. Вычисляют ориентировочные тангенсы круговых кривых, принимая сдвигу  $\rho = 0$ :

$$T_i = R_i \cdot \text{tg}(\alpha_i / 2). \quad (3.2)$$

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

Проверяют достаточность длин прямых  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$  (рисунок 3.1) для размещения общих тангенсов  $T_j + t_j$ . 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,  $\Pi_2 < (T_2 + t_2) + (T_3 + t_3)$ , то необходимо так уменьшить радиус второго или третьего закругления, чтобы он был не меньше минимального, определить новые значения общих тангенсов и проверить условие

$$\Pi_2 \geq (T_2 + t_2) + (T_3 + t_3). \quad (3.3)$$



### 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 (рисунок 3.1):

$$\text{первой вершины } ВУ1 = НХ + П_1; \quad (3.4)$$

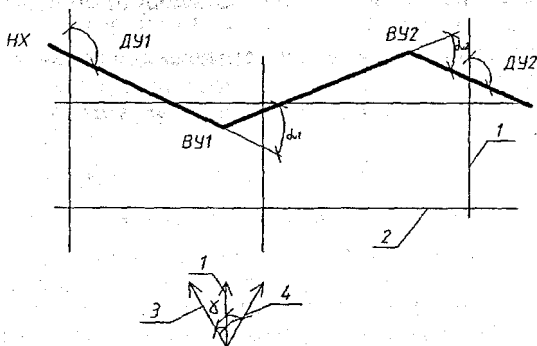
$$\text{второй вершины } ВУ2 = ВУ1 + П_2 - Д_1; \quad (3.5)$$

$$\text{конец хода } КХ = \sum П_i - \sum Д_i. \quad (3.6)$$

В формулах (3.4)–(3.6) длины участков ломаной трассы измеряются по карте, а домер  $D$  вычисляется по формуле (2.4), (2.19).

На каждом закруглении при известных значениях  $a, R, L$  вычисляют остальные элементы закругления с точностью до 0,01 м (раздел 2.1), пикетные положения основных точек закругления (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  $П_1$ . **Дирекционный угол** – угол между вертикальной линией 1 километровой сетки карты и направлением прямой. Так, для прямой  $ВУ1$ – $ВУ2$  дирекционный угол равен  $ДУ1$  (рисунок 3.2).



1 – вертикальная линия километровой сетки на карте; 2 – нижний край карты; 3 – направление магнитного меридиана; 4 – направление истинного меридиана  
Рисунок 3.2 – Схема к вычислению дирекционного угла и азимута:

Далее в курсовом проекте вычисляют магнитный азимут:

$$A_1 = ДУ1 \pm \gamma, \quad (3.7)$$

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

Знак «+» в формуле (3.7) принимают, если линия 3 (рисунок 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  $П_2$  будет равен

$$A_2 = A_1 \pm \alpha_1. \quad (3.8)$$

В формуле (3.8) 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 таблице 3.1.

Таблица 3.1

№ п/п	$\alpha$		ВУ		R	T	K	Б	Д	L	t	$\beta$	P	K <sub>0</sub>
	лево	право	ПК	+										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

НЗ		НКК (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 (графа 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

$$KX - HX = \Sigma L + \Sigma K + \Sigma K_0 + 2\Sigma L; \quad (3.9)$$

по домерам

$$2(\Sigma T + \Sigma t) - (\Sigma K + 2\Sigma L + \Sigma K_0) = \Sigma D. \quad (3.10)$$

### 3.1.4 Составление чертежа «План трассы»

На основе чертежа, полученного путем ссерокопирования карты местности, вычерчивается ситуация в полосе не менее 100 м в каждую сторону от трассы автомобильной дороги по вариантам. На ватмане наносится ломаная трасса по вариантам, вписываются закругления на основе ведомости углов поворота, прямых и кривых. На каждом закруглении приводятся основные его параметры (рисунок 3.3).

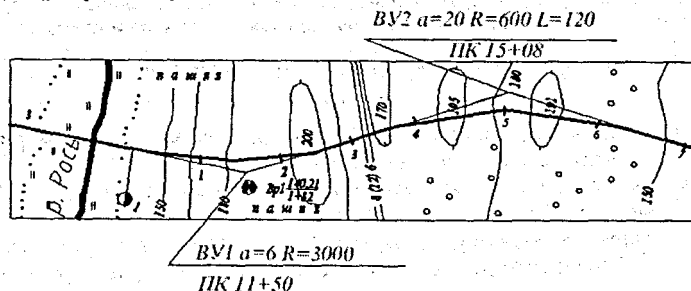


Рисунок 3.3 – Фрагмент оформления чертежа «План трассы»

На чертеже обозначают номера вариантов, пикеты и километры, показывают направление «север-юг», схему привязки трассы к ориентирам на местности.

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

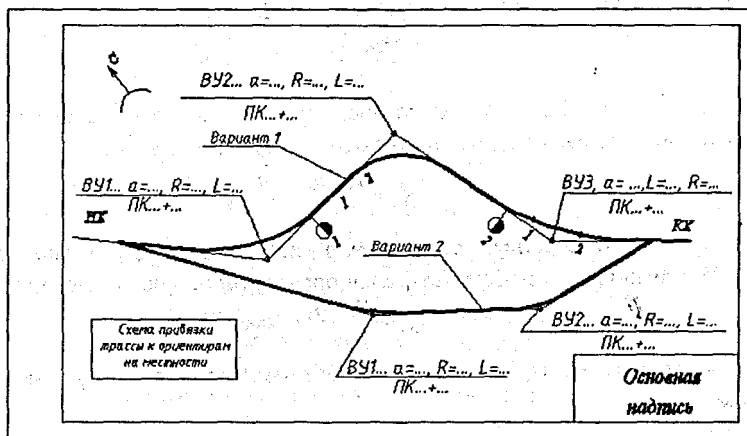


Рисунок 3.4 – Схема чертежа «План трассы»

В правом нижнем углу размещается основная надпись.

Выбор варианта трассы производят по длине, числу углов поворота с радиусами менее рекомендуемых, числу мостов, путепроводов, труб и т.д. (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сравнение вариантов трассы

Наименование показателей	Ед. изм.	Варианты		Преимущества	
		I	II	I	II
1. Длина трассы	км.				
2. Коэффициент удлинения трассы	-				
3. Количество углов поворота	шт.				
4. Средний угол поворота	град.				
5. Средний радиус поворота	м.				
6. Минимальный радиус поворота	м.				
7. Количество пересечений:					
7.1. В одном уровне	шт.				
7.2. В двух уровнях					
8. Количество малых водотоков	шт.				
9. Максимальный продольный уклон	‰				
10. Протяженность участков, неблагоприятно влияющих на устойчивость земляного полотна:					
10.1. Болота	м.				
10.2. Косогор					
11. Общая длина участков с тах продольным уклоном	м.				
12. Протяженность участков, проходящих по лесу	м.				
13. Протяженность участков, проходящих по с/х угодьям и плодородным землям (пашня)	м.				

Коэффициент удлинения трассы рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{L_{\text{ист.}}}{L_{\text{возд.}}}, \quad (3.11)$$

где  $L_{\text{ист.}}$  – истинная длина трассы, км;  $L_{\text{возд.}}$  – длина воздушной линии, км.

Средний угол поворота определяется по формуле:

$$L_{\text{ср}} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}{n}, \text{ град.}, \quad (3.12)$$

где  $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n$  –  $n$ -ый угол поворота, град.;  $n$  – количество углов поворота, шт.

Средний радиус поворота определяется по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}, \text{ м}, \quad (3.13)$$

где  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  –  $n$ -ый радиус поворота, м;  $n$  – количество радиусов поворота, шт.

Максимальный продольный уклон определим по следующей формуле:

$$i_{\text{max}} = \frac{H_i + H_{i+1}}{l} \cdot 1000, \text{ ‰}, \quad (3.14)$$

где  $H_i$  –  $i$ -ая отметка;  $H_{i+1}$  –  $i+1$  отметка, м;  $l$  – расстояние между этими отметками, м.

### 3.2 Продольный профиль

Продольный профиль составляется по выбранному варианту трассы на миллиметровой бумаге (рисунок 3.5).

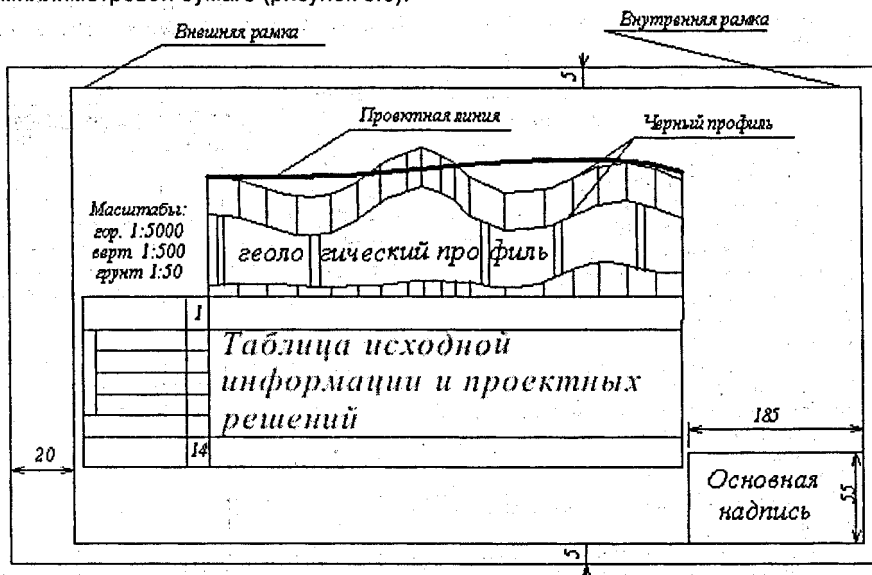


Рисунок 3.5 – Схема чертежа «Продольный профиль»

Проектирование продольного профиля включает:

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

### 3.2.1 Нанесение исходной информации

К исходной информации относятся:

- а) план трассы;
- б) черный профиль по оси трассы;
- в) геологическое строение местности по оси дороги.

Геологическое строение местности при проектировании продольного профиля в курсовом проекте № 1 наносят на чертеж продольного профиля для выбранного варианта трассы (п. 3.2.5).

План трассы с ситуацией по 100 м в каждую сторону от оси дороги составляют по данным топографической карты (графа 1 таблица 3.3).

В графе 1 обозначают угодья, пересекаемые дороги, водотоки, линии связи и электропередач, положение вершин углов поворота и направление поворота трассы (рисунок 3.6). В графе 14 (рисунок 3.7) по данным ведомости углов поворота, прямых и кривых наносят элементы плана оси дороги: прямые (длина, румб), закругления (номер вершины угла, величина угла поворота, радиус круговой кривой, длина переходной, расстояние от ближайшего пикета до начала и конца переходных и круговых кривых), указывают номера пикетов (только единицы) и километры.

В графе 13 обозначают расстояние между плюсовыми точками и пикетами. При отсутствии на пикетах плюсовых точек расстояние между пикетами (100 м) не записывают (например, ПК8, ПК9 на рисунке 3.7).

Таблица 3.3 – Таблица исходной информации и проектных решений

Развернутый план дороги		1	5	20	175		
Тип местности по увлажнению		2	5	5			
Проектные данные	Тип поперечного профиля		3	5		5	
	Левый кювет	Укрепление	4	5		5	
		Длина, м	Уклон, ‰	5		10	
		Отметка дна, м		6		15	
		Правый кювет	Укрепление	7		5	15
	Длина, м		Уклон, ‰	8		10	
	Отметка дна, м			9		15	
	Уклон и вертикальная кривая		10	10		15	
	Фак-ти-чес-кие дан-	Отметки оси дороги, м		11		10	15
		Отметки земли, м		12		10	15
Расстояние, м		13	10	15			
Пикет			10	5			
Указатель километров		14	10	20			
Прямая и кривая в плане			10	20			
10	25	40					
75							

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 (таблица 3.3). Типы местности обозначают цифрами 1, 2 или 3.

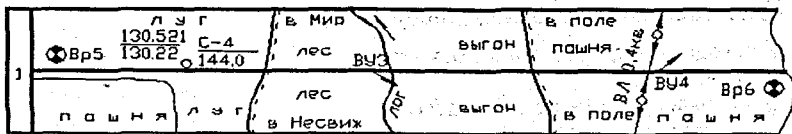


Рисунок 3.6 – Пример заполнения графы 1

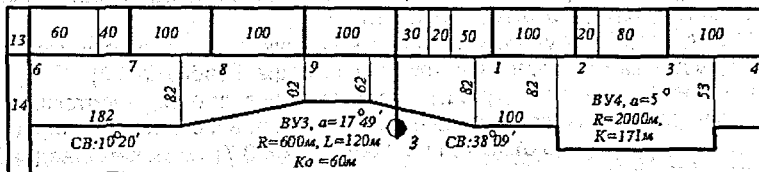


Рисунок 3.7 – Пример заполнения граф 13 и 14

**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 рисунке 3.8. Определить черные отметки ПК10 и ПК11+60.

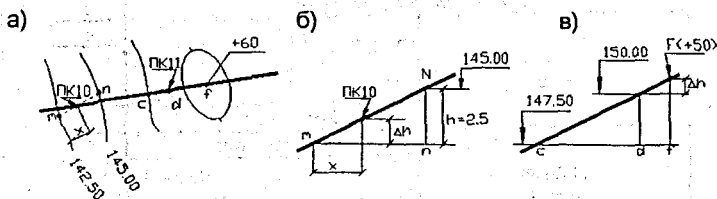


Рисунок 3.8 – Схема к определению отметок местности по карте

Отметку ПК10 найдем методом интерполяции. Для этого через ПК10 проведем линию наибольшего ската  $mn$  (рисунок 3.8, а), измерим ее длину ( $mn = 60$  м) и расстояние  $x$  от нижерасположенной горизонтали с отметкой 142,5 м ( $x = 43,2$  м). Из рисунка 3.8, б следует, что сечение горизонтали  $h = 2,5$  м

$$\Delta h = \frac{h}{mn} \cdot x = \frac{2,5}{60} \cdot 43,2 = 1,8 \text{ м.}$$

Отметка ПК10 будет

$$H_{\text{ПК10}} = 142,5 + 1,8 = 144,3 \text{ м.}$$

Отметку ПК11+60 найдем методом экстраполяции. На карте по линии наибольшего ската расстояние измерим  $cd$  между ближайшими горизонталями ( $cd = 55$  м) и расстояние  $fd$  от ПК11+60 (точка  $F$ ) до ближайшей горизонтали ( $fd = 29,9$  м). Из рисунка 3.8, в следует, что

$$\Delta h = \frac{h}{cd} \cdot fd = \frac{2,5}{55} \cdot 29,9 = 1,36 \text{ м}$$

и отметка ПК11+60

$$H_{\text{ПК11+60}} = 150,0 + 1,36 = 151,36 \text{ м.}$$

Вычисленные отметки поверхности земли по оси трассы вписывают в графу 12 (таблица 3.3).

Из графы 12 таблицы 3.3 выбирают наименьшую отметку земли и наносят ее на чертеж «Продольный профиль» так, чтобы от нее до верха графы 1 (таблица 3.3) оставалось не менее 7 см для размещения геологического профиля, а сантиметровая линия миллиметровой бумаги соответствовала отметке, кратной 5 м (например, 145,0; 150,00). 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 (рисунок 3.9).

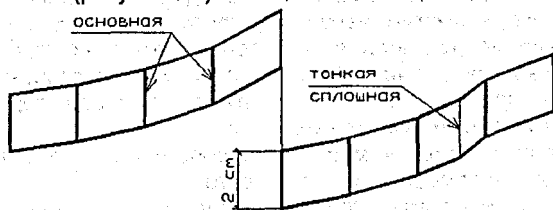


Рисунок 3.9 – Пример нанесения черного профиля со смещением по высоте

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 (рисунок 3.9).

### 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

$$H_{np} = H_v + \Gamma + h_c + 0,2, \tag{3.15}$$

где  $H_v$  – 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 категорию, 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%.

#### А) 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 трехочковые. 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  $H_{нд}$  у труб и мостов.

У труб контрольная отметка равна:

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

$$H_{сп} = H_{ч} + d + t + 0,5 + H_{до} + (0,5b + c)i_{ч}, \quad (3.16)$$

где  $H_{ч}$  — 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);  $H_{до}$  — толщина дорожной одежды (по заданию);  $b$  — ширина проезжей части дорог II–VI категорий или одного направления дорог I категории;  $c$  — ширина укреплений



ной полосы (на дорогах IV, III, II категорий или остановочной на дорогах категории I-a);  $i_n$  – уклон проезжей части ( $i_n = 0,020$  на дорогах V, IV, III и II категории,  $i_n = 0,025$  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

$$H_{np} = УПВ + 0,5(1,0) + (0,5b + c)i_n + (a - c)i_0, \quad (3.17)$$

где  $a$ ,  $i_0$  – ширина и поперечный уклон обочины ( $i_0 = 0,040$ );

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

**Пример 3.2.** Исходные данные представлены на рисунке 3.10. Требуется определить контрольные отметки у трубы на ПК20+40 для дороги III категории при толщине дорожной одежды 0,6 м.

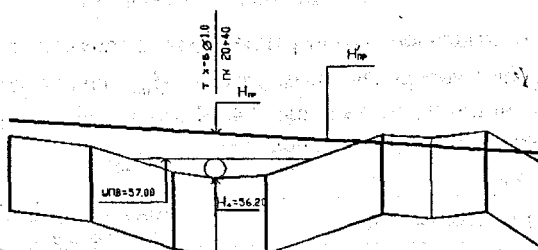


Рисунок 3.10 – Исходные данные к примеру 3.2

#### Контрольные отметки

а) по засыпке над трубой

$$H_{np} = 56,20 + 1,0 + 0,2 + 0,5 + 0,6 + (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) \cdot 0,02 = 58,58 \text{ м};$$

б) по возвышению бровки земляного полотна над УПВ

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

Следовательно, над трубой проектная линия (рисунок 3.10) не может быть ниже отметки 58,58 на ПК20+40 и отметки 57,66 – на участке, где устанавливается УПВ.

У мостов через несудоходные реки контрольная отметка равна

$$H_{np} = PУВВ + Z + h_c, \quad (3.18)$$

где  $PУВВ$  – расчетный уровень высокой воды, условно назначается на 1-2 м выше отметки бровки русла;  $Z$  – расстояние от расчетного уровня высокой воды  $PУВВ$  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.

**Б) Руководящие рабочие отметки**

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

а) по обеспечению снегонезаносимости дороги на открытых участках

$$h_p^1 = h_{CH5\%} + \Delta h + (0,5b + c) \cdot i_n + (a - c) \cdot i_0, \quad (3.19)$$

где  $h_{CH5\%}$  – 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

$$h_p^2 = H_{\min}^2 + H_{д.о} + (0,5b + c) \cdot i_n; \quad (3.20)$$

$$h_p^3 = H_{\min}^3 + H_{д.о} + (0,5b + c) \cdot i_n - H_0, \quad (3.21)$$

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 3.4;  $H_{д.о}$  – толщина дорожной одежды;  $H_0$  – глубина залегания грунтовых вод.

Таблица 3.4

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение низа дорожной одежды для типов местности, м	
	0,5	0,7
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пыле-ватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

### 3.2.3 Составление варианта проектной линии

На листе миллиметровой бумаги вычерчивают черный профиль в масштабах: горизонтальном 1:5000, вертикальном 1:500.

Проектную линию в курсовом проекте проектируют методом тан-генсов. Для этого на профиле намечают контрольные точки и положение руководящих рабочих отметок. С помощью упругой линии или шаблонов вертикальных кривых графически намечают ориентировочное положение проектной линии. Ее заменяют отрезками прямых ABCD (рисунок 3.11).

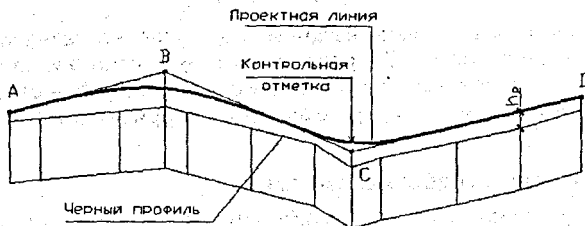


Рисунок 3.11 – Схема к нанесению проектной линии

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* (рисунок 3.11) расположены на пикетах 2 и 6. Их отметки 99,00 и 102,50. Вычисляем уклон прямой *AB*:

$$i = (102,50 - 99,00) / (ПК6 - ПК2) = 3,50 / 400 = 0,00875 = 8,75 \text{‰}.$$

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 3.12.

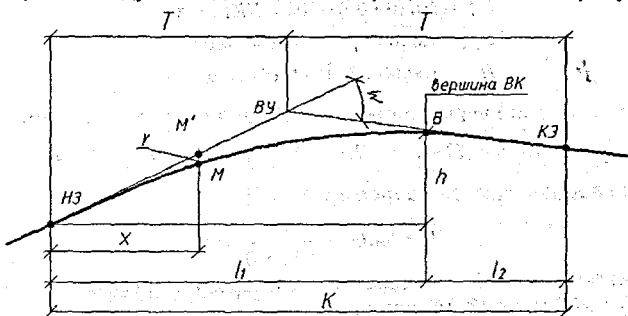


Рисунок 3.12 – Схема к расчету вертикальной кривой

Длину вертикальной кривой *K* радиуса *R* и тангенс *T* определяют по формулам:

$$K = \omega \cdot R = [i_1 - (-i_2)] \cdot R; \quad T = 0,5 \cdot K, \text{ м.} \quad (3.22)$$

Пикетное положение начала и конца кривой

$$HЗ = ВУ - T; \quad КЗ = ВУ + T. \quad (3.23)$$

Отметки начала и конца закругления

$$H_{HЗ} = H_{ВУ} - T \cdot i_1; \quad H_{КЗ} = H_B + T \cdot (-i_2). \quad (3.24)$$

Вершина кривой (точка *B*) расположена на расстоянии *l<sub>1</sub>* от ее начала и *l<sub>2</sub>* от ее конца:

$$l_1 = h_1 \cdot R; \quad l_2 = i_2 \cdot R, \text{ м.} \quad (3.25)$$

Отметка вершины кривой

$$H_B = H_{HЗ} \pm \frac{l_1^2}{2 \cdot R}. \quad (3.26)$$

Отметка точек на кривой (например, точки *M*, рисунок 3.12) может быть вычислена двумя способами:

1-й способ 
$$H_M = H'_M - y = H_{HЗ} + x \cdot i_1 - \frac{x^2}{2 \cdot R}; \quad (3.27)$$

2-й способ

$$H_m = H_B - h = H_B \mp \frac{l^2}{2 \cdot R} \quad (3.28)$$

**Пример 3.4.** Две прямые с уклонами  $i_1=30\%$  и  $i_2=-10\%$  пересекаются на ПК10+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 (3.22) 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 (3.23) и (3.24).

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

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

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

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

По формуле (3.25) вычисляем расположение вершины кривой:

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

Отметка вершин кривой по формуле (3.26):

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

Отметка пикета 9+00, находящегося от вершины на расстоянии  $l = \text{ПК}11 - \text{ПК}9 = 200$  м, по (3.28) равна

$$H_{ГК9} = 98,50 - \frac{200^2}{2 \cdot 10000} = 96,50 \text{ м}.$$

Вычислим также отметку пикета 9+00 по формуле (3.27), принимая начало координат  $X, Y$  на пикете 8+00:

$$H_{ГК9} = 94,00 + 100 \cdot 0,030 - \frac{100^2}{2 \cdot 10000} = 96,50 \text{ м}.$$

Прямые участки проектной линии и вертикальные кривые обозначают в графе 10 (таблица 3.3) продольного профиля в соответствии с рисунком 3.13.

Проектные отметки заносят в графу 10 таблицы 3.3.

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.

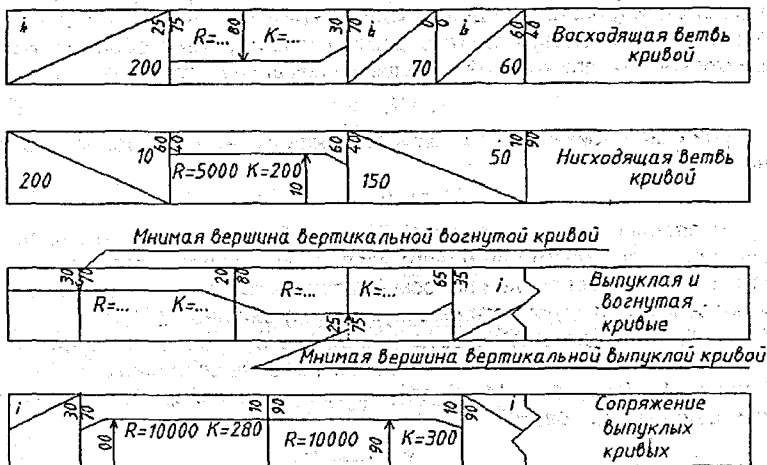


Рисунок 3.13 – Обозначение вертикальных кривых и прямых

Положение нулевой точки показывают пунктиром от проектной линии до верха геологического профиля и от низа геологического профиля до графы 1 (таблица 3.3). 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. Толщину дорожной одежды принимают по заданию. 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:

- 1) проектирование продольного профиля дна кювета;
- 2) назначение укрепления кюветов.

При проектировании продольного профиля дна кювета возможны два случая:

1. Уклон проектной линии на участке дороги, где необходим кювет более либо равный 5‰.
2. 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 (таблица 3.3) не за-

полняют, 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:

$$h_{нк} = h_k + \Delta Y, \quad (3.29)$$

где  $h_k$  – принятая глубина кювета;  $\Delta Y$  – разность отметок оси дороги и бровки обочины:

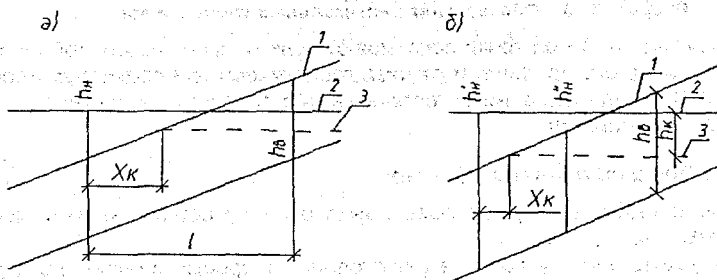
$$\Delta Y = i_n \cdot (0,5b + c) + i_0(a - c), \quad (3.30)$$

где  $i_n, i_0$  – 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 величину  $h_{нк}$ .

Если  $h_n > h_{нк}$  (рисунок 3.14, а), то расстояние от поперечника с рабочей отметкой  $h_n$  до начала кювета

$$X_k = l \cdot \frac{h_n - h_{нк}}{h_n + h_b}, \quad (3.31)$$



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

Рисунок 3.14 – Схема к определению начала (конца) кювета в случае расположения дна кювета параллельно проектной линии

Если  $h_n < h_{нк}$ , то начало кювета будет располагаться между поперечниками с рабочими отметками  $h'_n$  и  $h''_n$  (рисунок 3.14, б),  $h'_n > h_{нк}$  и  $h''_n < h_{нк}$ :

$$X_k = \frac{h'_n - h_{нк}}{h'_n - h''_n}, \quad (3.32)$$

**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 (3.30):

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

При глубине кювета 0,8 м вычислим

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

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 (3.31) 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

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

На ПК10+00  $h'_n = 2,16$ , т.е.  $h'_n > h_{\text{нк}}$  (рисунок 3.14, б), а на ПК11+00  $h'_n = 1,16$ , т.е.  $h'_n < h_{\text{нк}}$ .

Начало кювета будет находиться на расстоянии  $X_k$  от ПК10+00, и величина  $X_k$  вычисляется по формуле (3.32):

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

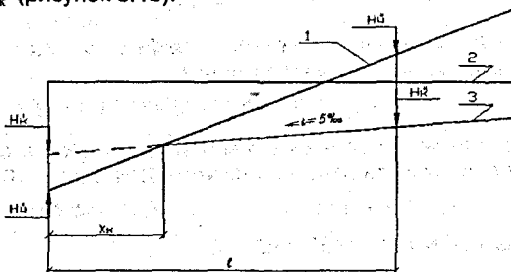
## Случай 2

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 отдельно (непараллельно проектной линии) с минимальным уклоном  $i = 5\text{‰}$  (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 А на середине выемки при  $0 < i < 5\text{‰}$  таким образом, чтобы обеспечить минимальное увеличение объема выемки за счет увеличения глубины кювета.

2. Вычисляют отметки дна кювета с уклонами  $i = 5\text{‰}$  в стороны от водораздельной точки до выхода на поверхность земли, а также пикетное положение начала и конца кювета по данным об отметках черного профиля  $H'_n$  и  $H''_n$  и дна кювета  $H'_k$  и  $H''_k$  (рисунок 3.15).



1 — черный профиль; 2 — проектная линия; 3 — дно кювета  
Рисунок 3.15 — Схема к определению положения начала кювета при раздельном проектировании

Вычисляют расстояние от поверхности земли до фактического дна кювета в выемке:

$$a_b = H'_n - H''_k \quad (3.33)$$

и до условного дна кювета в насыпи:

$$a_n = H'_v - H'_r \quad (3.34)$$

Расстояние до начала кювета

$$X_k = \frac{a_n}{a_n + a_b} \quad (3.35)$$

**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

$$\Delta Y = i_n \cdot (b+c) + i_0 \cdot (a-c) = 0,02 \cdot (3,0+0,5) + 0,04 \cdot (2,0-0,5) = 0,13 \text{ м.}$$

Вычислим отметку дна кювета на ПК12+00:

$$H_{k_{12}} = H_{n_{12}} - h_k - \Delta Y = 85,50 - 1,00 - 0,13 = 84,37 \text{ м.}$$

От пикета 12+00 запроектируем дно кювета с уклоном 5‰ (таблица 3.4, графа 5) до выхода на поверхность земли.

Вычислим отметки дна кювета на пикетах 10+00, 11+00, 13+00, 14+00:

$$H_{k_{11}} = H_{k_{12}} - 0,005 \cdot l = 84,37 - 0,005 \cdot 100 = 83,87; \quad H_{k_{13}} = H_{k_{11}};$$

$$H_{k_{10}} = 83,87 - 0,005 \cdot 100 = 83,37; \quad H_{k_{14}} = H_{k_{10}}.$$

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 83,87, а поверхность земли 85,00, т.е. оно расположено ниже поверхности земли на 1,13 м. На пикете 10+00 условное дно кювета выше поверхности земли на величину  $83,37 - 80,50 = 2,87$  м. Кювет начинается на  $ПК10+00+X_k$ :

$$X_k = 100 \cdot \frac{2,87}{2,87 + 1,13} = 71,75 \text{ м.}$$

Заносим положение начала кювета в графу 5 таблицы 3.4.

Вычисляем отметку дна начала кювета:

$$H_{нк} = H_{k_{11}} - 0,005 \cdot 28,25 = 83,87 - 0,141 = 83,729 \text{ м.}$$

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

$$a_n = 85,00 - 83,87 = 1,13; \quad a_b = 83,37 - 82,00 = 1,37 \text{ м.}$$

Кювет заканчивается на  $ПК13+00+X_k$ :

$$X_k = l \cdot \frac{a_b}{a_b + a_n} = 100 \cdot \frac{1,13}{1,13 + 1,37} = 45,20 \text{ м.}$$

Отмечаем положение конца кювета на пикете 13+45,2 в графе 5 и вычисляем отметку дна в конце кювета:

$$H_{кк} = H_{k_{13}} - 0,005 \cdot 45,20 = 83,87 - 0,226 = 83,644 \text{ м.}$$



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

1) по формуле (3.30) вычисляется снижение бровки обочины  $\Delta Y$ . Так, для дороги IV категории  $\Delta Y = 0,020 \cdot (3,0 + 0,5) + 0,04 \cdot (2,0 - 0,5) = 0,13$  м;

2) под вершиной выпуклой кривой (ниже ее на глубину кювета  $h_k + \Delta Y$ ) намечают водораздельную точку А (рисунок 3.16), ее отметку записывают в графы 8 и 11 (таблица 3.3);

3) вычисляют отметки дна кювета справа и слева от точки А на участке длиной  $l = \Delta i \cdot R$  при уклоне дна кювета  $i = 5\%$  ( $l = 0,01 \cdot R$  при  $i = 5\%$ ) и записывают в графы 6, 9; уклон  $i$  и расстояние  $l$  записывают в графы 5, 8 таблицы 3.3;

4) за пределами участка ВС разделного проектирования на ВД и СМ кювет проектируют параллельно бровке земляного полотна (случай 1) до выхода на поверхность земли (до точек Д и М).

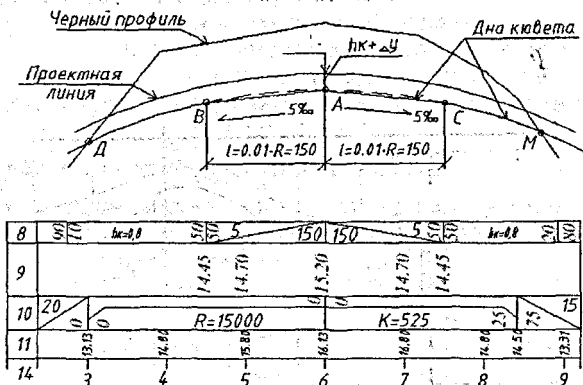


Рисунок 3.16 – Пример разделительного проектирования продольного профиля дна кювета на участке выпуклой вертикальной кривой

**Пример 3.6.** Исходные данные даны на рисунке 3.16. Дорога IV технической категории. Минимальная глубина кювета 0,8 м. Проектная отметка на участке ПК3+00–ПК8+25 – выпуклая кривая радиусом 15000 м.

Вычисленное по формуле (3.30)  $\Delta Y = 0,13$  м. От вершины кривой (ПК 6+00) проектируем кювет с уклоном дна 5‰ на протяжении  $0,01R = 150$  м. Отметка дна кювета на ПК6+00 ниже проектной отметки на величину ( $h_k + \Delta Y$ ) (рисунок 3.16) и равна  $16,13 - 0,80 - 0,13 = 15,20$  м.

Отметки дна кювета на пикетах 4+50; 5+00; 7+00 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:

- 1) засев трав с плакировкой при уклонах до 20‰;
- 2) одерновка откосов и укрепление дна гравием (щебнем) при продольных уклонах дна до 30‰;
- 3) мощение откосов и дна камнем, бетонными плитами при уклоне 30-50‰;

4) перепады, быстротоки при уклоне свыше 50%.

Типы укрепления назначают по величине продольного уклона проектной линии и записывают в графы 3, 7 (таблица 3.3): «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 (таблица 3.3) проводят вертикальные линии, соответствующие пикетам и плюсовым точкам, как и на черном профиле (рисунки 3.17).

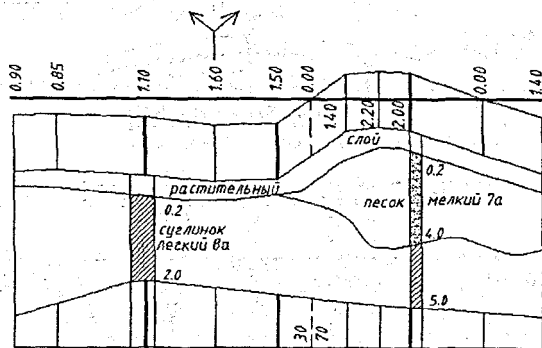


Рисунок 3.17 – Деталь геологического профиля

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 3.5.

Таблица 3.5

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.

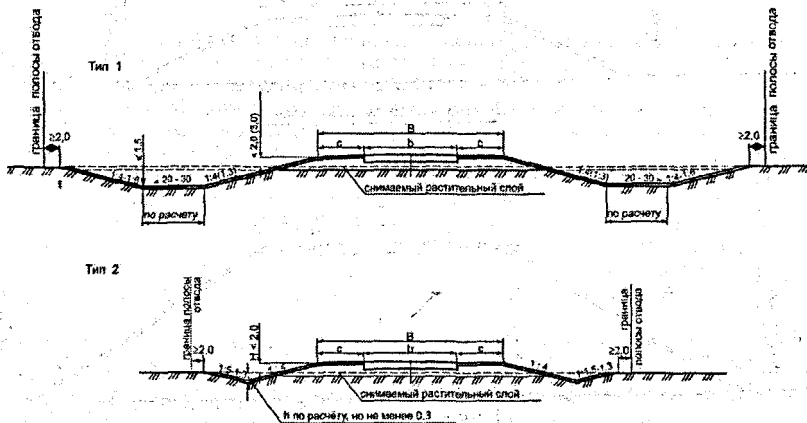
### 3.3 Поперечные профили земляного полотна

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 (рисунок 3.18) высотой до 3 м на дорогах I–III категорий и до 2 м на дорогах IV–V категорий. Заложение откосов (1:4, 1:3) назначается по условиям безопасности движения.



#### Примечания:

1) Тип 1 назначается в нестесненных условиях, на неплодородных землях и при условии временного отвода под боковые резервы. Тип 2 – в стесненных условиях или при прохождении дороги по ценным угодиям.

2) Типы 1 и 2 при высоте насыпи до 3 м и крутизне откосов 1:4 применяются на дорогах I – III категорий, а при высоте до 2 м и крутизне откосов 1:3 – на дорогах IV – V категорий.

Резервы (тип 1) назначаются в случаях, когда они не нарушают общей планировки местности.

Рисунок 3.18 – Насыпи высотой 3(2) м и с кюветами и боковыми резервами

2. Высокие насыпи высотой от 2(3) до 12 м (рисунок 3.19). Крутизна откосов назначается минимальной по условиям их устойчивости.

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов		
	при высоте откоса до 6 м	при высоте откоса до 12 м	
		в нижней части (0 – 6 м)	в верхней части (6 – 12 м)
Глыбы из слабоветриваемых пород	1:1 – 1:1,3	1:1,3 – 1:1,5	1:1,3 – 1:1,5
Крупнообломочные и песчаные (за исключением мелких и пылеватых песков)	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Песчаные мелкие и пылеватые, глинистые и лессовые, золошлаковые смеси непучинистые, слабопучинистые и пучинистые	$\frac{1:1,5}{1:1,75}$	$\frac{1:1,75}{1:2}$	$\frac{1:5}{1:1,75}$

**Примечания:**

В знаменателе даны значения крутизны откосов для пылеватых разновидностей грунтов и для однородных мелких песков.

При использовании пучинистых золошлаковых смесей необходимо осуществить укрепление откосов защитными слоями не менее 0,2 – 0,3 м и применять морозозащитные слои в верхней части земляного полотна.

Тип 3



Тип 4

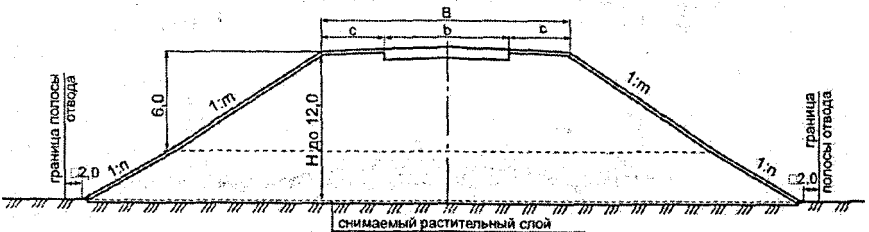


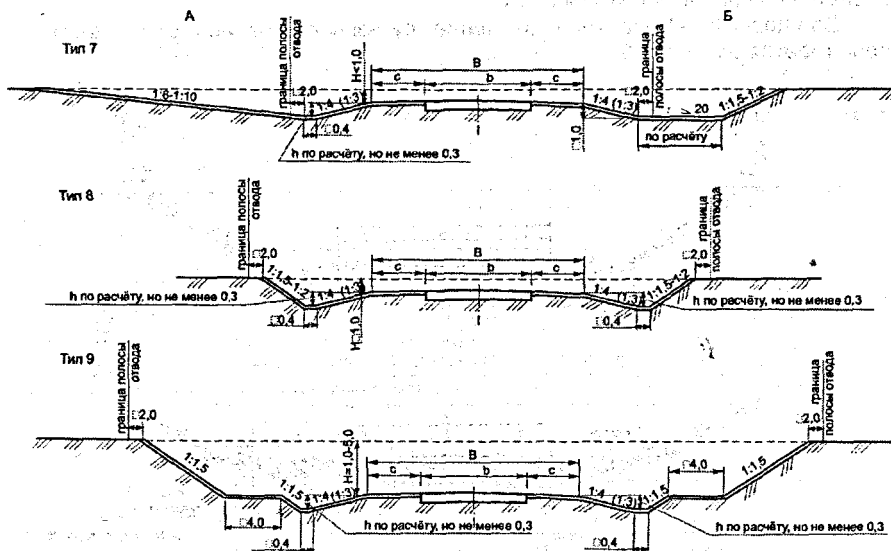
Рисунок 3.19 – Насыпи высотой до 6 и 12 м

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

### 3.3.2 Типовые поперечные профили выемок

На открытых участках местности по условиям снеготаносимости дороги мелкие выемки проектируют раскрытыми (рисунок 3.20, Тип 7 А) или разде-

ланными под насыпь (рисунок 3.20, Тип 7 Б), в выемках глубиной до 5 м откос выемки отдаляют от дороги путем устройства закуветной полки (кювет-резерва) шириной не менее 3,0 м (рисунок 3.20 Тип 9).



**Примечания:**

1) Типы 7 и 8 применяются на начальных участках глубоких выемок. Сопряжение конструкций начальных участков с основной конструкцией глубоких выемок следует предусматривать в пределах участков длиной не менее 10,0 м.

2) Типы 7А и 7Б применяют с целью предохранения начальных участков выемок от снежных заносов в стесненных условиях и на малоценных угодьях и устраиваются либо раскрытыми (тип – 7А), либо разделанными под насыпь (тип 7Б).

3) Тип 8 применяется в стесненных условиях или при проложении дороги по ценным угодьям, а также на участках, где отсутствуют снежные заносы.

4) Тип 9 применяется на снегозаносимых участках при глубине выемок от 1,0 до 5,0 м. Ширина полки принимается в зависимости от объема снегопереноса, но не менее 4,0 м. Выемки по типу 9 можно проектировать с уширенной обочиной «с» не менее 4,0 м (взамен полки).

**Рисунок 3.20 – Выемки глубиной до 1 м и на снегозаносимых участках**

На снегонезаносимых участках выемки глубиной 0-12 м проектируют по условиям откосов устойчивости (рисунок 3.21). Такой же поперечный профиль имеют выемки глубиной 5-12 м на снегозаносимых участках местности.

Заложение откосов со стороны обочины принимают если грунты: крупнообломочные – 1:1 - 1:1,5; песчаные крупные и средние, глинистые твердой, полутвердой консистенций – 1:1,5; мелкие и пылеватые песчаные, глинистые тугопластичной, мягко-пластичной консистенций - 1:2/1:1,5.

Тип 10 применяется в грунтах крупнообломочных, песчаных, крупных и средних, глинистых твердой, полутвердой консистенций. Для автомобильных дорог I – II категорий конструкции выемок принимаются по варианту «А».

Тип 11 применяется в мелких и пылеватых песчаных грунтах, в глинистых грунтах тугопластичной и мягкопластичной консистенций. Ширину закуветных

полос в мелких и пылеватых грунтах следует принимать равной 1 м, а в глинистых грунтах при высоте откоса до 6 м – 1 м, а при высоте откоса более 6 и до 12 м – 2 м. Для автомобильных дорог I – II категорий конструкция выемок принимается по варианту «А» (Тип 11А)

Для дорог IV – V категорий значение крутизны внутреннего откоса выемки принимается равным 1:3.

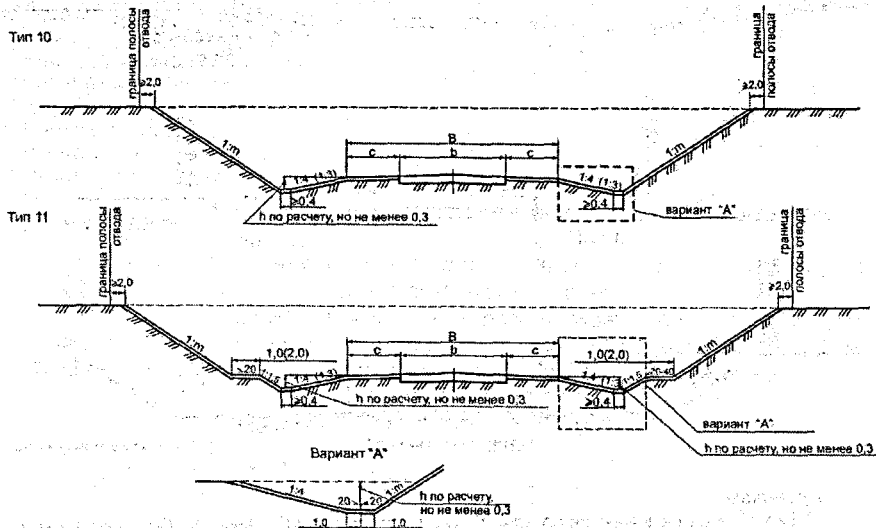


Рисунок 3.21 – Выемки глубиной до 12 м в крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтах

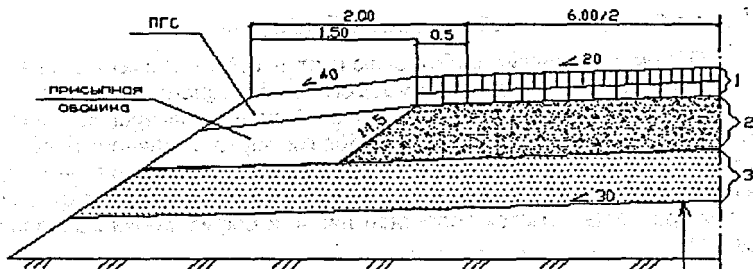
Поперечные профили земляного полотна вычерчивают на миллиметровой бумаге в масштабе 1:200 или 1:100. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы. Типовым поперечникам присваивают номера (тип 1, тип 2 и т.д.), в соответствии с которыми в графе 3 таблицы 3.3 продольного профиля указывают их наименование и границы применения с расстояниями до ближайших пикетов.

### 3.4 Конструкция дорожной одежды

Дорожная одежда включает в себя (рисунок 3.22) покрытие 1, основание 2 и дополнительный слой основания. При этом если грунты земляного полотна – пылеватые, то дополнительный слой основания является дренающим и устраивается на всю ширину земляного полотна (рисунок 3.22, а). При песчаных грунтах, супесях и при первом типе местности дополнительный слой основания является подстилающим и устраивается на ширину проезжей части и укрепительных полос (рисунок 3.22, б).

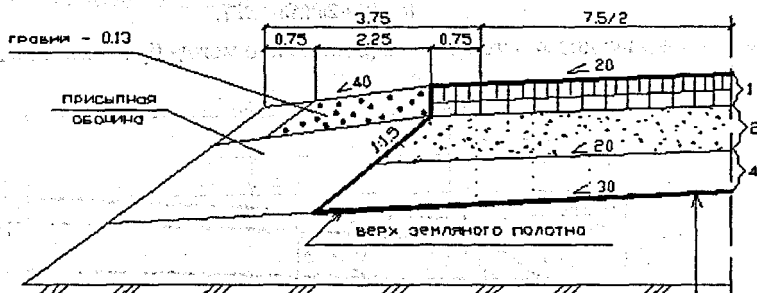
Поперечный профиль проезжей части и дорожной одежды вычерчивают в масштабе 1:100 или 1:50. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы.

а



песок средний по ГОСТ 8736-93	-0.20
гравий с добавлением дробленых частиц	-0.20
горячий гравий, пористый асфальтобетон крупнозернистый (ГКПг) по СТБ 1033-2004	-0.06
горячий гравий, плотный асфальтобетон мелкозернистый типа В марки II (ГМВг-II) по СТБ 1033-2004	-0.40
одиночная поверхностная обработка	

б



песок средний по ГОСТ 8736-93	-0.20
щебень по ГОСТ 8267-93	-0.20
горячий щебеночный пористый асфальтобетон крупнозернистый по СТБ 1033-2004	-0.08
горячий щебеночный плотный асфальтобетон мелкозернистый типа А марки I ШМАг-1/2.75 по СТБ 1033-2004	-0.45

а – с дренирующим слоем; б – с подстилающим слоем;  
 1 – покрытие; 2 – основание; 3 – дренирующий слой; 4 – подстилающий слой  
 Рисунок 3.22 – Примеры конструкции дорожной одежды

## 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 (рисунок 4.1):

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

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

где  $H$  – толщина дорожной одежды по оси проезжей части;  $i_{3n}$  – поперечный уклон верха земляного полотна ( $i_{3n} = 0,03$ );  $m$  – заложение откоса насыпи;  $i_n$  – 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.

Ширина верха земляного полотна:

$$B = B_n + 2m(\Delta h - \Delta Y), \quad (4.3)$$

где  $B_n$  – ширина дорожного полотна (расстояние между бровками обочины).

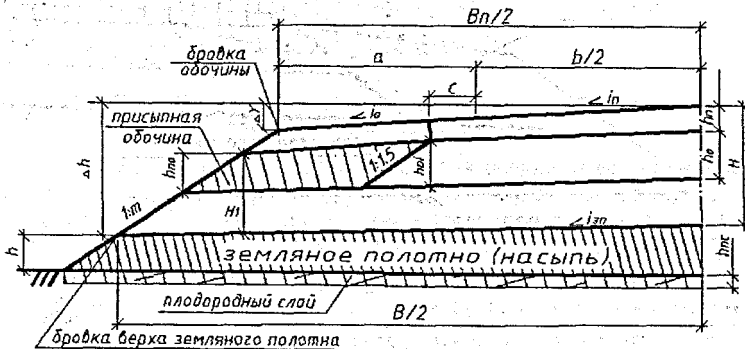


Рисунок 4.1 – Схема к определению объема насыпи и присыпных обочин

#### 4.1.1 Определение объемов насыпей

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

$$W_n = (Bh + mb^2 + 0,25 \cdot i_{3n} B) \cdot l, \quad (4.4)$$

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  $h_{nc}$ , снимаемого из-под насыпи:

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

Общий объем насыпи

$$W_{но} = W_n + W_{nc} \quad (4.7)$$

При высоте насыпи более 6 м объем насыпи

$$W_n = [Bh + mh^2 + 0.25 \cdot i_{3n} B^2 + 0.25 \cdot (h + \Delta h - 6)^2] \cdot l \quad (4.8)$$

Объем плодородного слоя

$$W_{nc} = [B + 2m \cdot (6 - \Delta h) + 2(m + 0.25) \cdot (h + \Delta h - 6)] \cdot h_{nc} \cdot l \quad (4.9)$$

#### 4.1.2 Определение объемов выемок

Объем выемки (рисунок 4.2) протяжением  $l$  вычисляются по формуле:

$$W_b = (B_1 h + m_1 h^2 - 0.25 \cdot i_{3n} B^2) \cdot l \quad (4.10)$$

где  $B_1$  – ширина выемки по низу (рисунок 4.2);  $i_{3n}$  – поперечный уклон верха земполотна ( $i_{3n}=0,03$ );  $h$  – средняя глубина выемки;  $m_1$  – заложение откосов со стороны местности;  $B$  – расстояние между бровками верха земполотна (рисунок 4.1), вычисляемое по формуле (4.3).

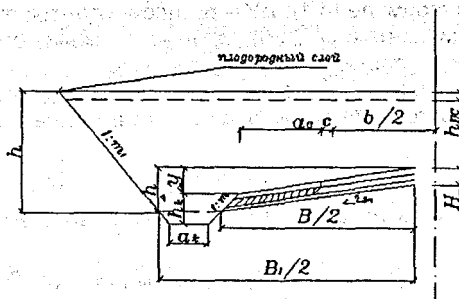


Рисунок 4.2 – Схема к определению объема выемки

$$B_1 = B + 2 \cdot (m + m_1) \cdot (h_k - \Delta h + \Delta y) + 2a_k \quad (4.11)$$

где  $m$  – заложение откоса со стороны обочины;  $h_k$ ,  $a_k$  – глубина и ширина ювета (ювет-резерва).

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) + \Delta y + \Delta h \quad (4.12)$$

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  $l$ :

$$W_{nc} = (B_1 + 2 \cdot m_1 \cdot h) \cdot h_{nc} \cdot l \quad (4.13)$$

где  $B_1$  – ширина выемки по низу, вычисляется по (4.11);  $h_{nc}$  – толщина плодородного слоя.

Общий объем выемки

$$W_{\text{во}} = W_{\text{в}} - W_{\text{пс}}. \quad (4.14)$$

#### 4.1.3 Определение объемов присыпных обочин

В случае насыпей и выемок вычисляют объем присыпных обочин (рисунок 4.1)

$$W_{\text{по}} = \left[ h_{01} + h_{02} \cdot (a - c + mh_{\text{п}}) + mh_{02}^2 - 1.5 \cdot h_{01}^2 \right] \cdot l, \quad (4.15)$$

$$\text{где } h_{01} = h_b - (i_{\text{п}} - i_{3\text{п}}) \cdot (0.5 \cdot b + c), \quad (4.16)$$

$$h_{02} = h_{01} - (i_o - i_{3\text{п}}) \cdot (a - c + mh_{\text{п}}), \quad (4.17)$$

где  $a$  и  $c$  – ширина обочины и укрепительной полосы;  $h_o$  – толщина основания дорожной одежды (рисунок 4.1);  $h_{\text{п}}$  – толщина покрытия;  $i_o$  – уклон обочины;  $i_{3\text{п}}$  – уклон верха земполотна.

#### 4.1.4 Определение объемов кюветов

В случае выемок вычисляют объемы двух кюветов по формуле:

$$W_{\text{к}} = \left[ 2a_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}0} + (m + m_1) \cdot h_{\text{к}0}^2 \right] \cdot l, \quad (4.18)$$

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 (3.30);  $m, m_1$  – 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:

$$W_{\text{к}}' = \left[ a_{\text{к}} \cdot h_{\text{к}0} + 0.25 \cdot (m + m_1) \cdot h_{\text{к}0}^2 \right] \cdot l, \quad (4.19)$$

В случае невысоких насыпей объем одного кювета вычисляют по формуле:

$$W_{\text{к}}'' = \left[ a_{\text{к}} \cdot \left( h_{\text{к}} + \Delta Y - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) + 0.5 \cdot (m + m_1) \cdot \left( h_{\text{к}} + \Delta Y - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 \right] \cdot l, \quad (4.20)$$

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 примере.

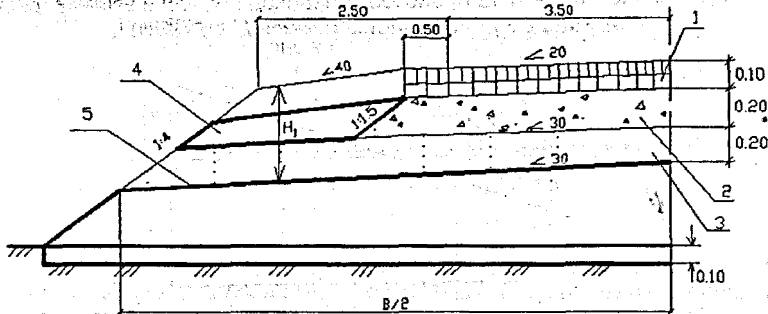
#### 4.1.5 Примеры вычисления объемов земляных работ

**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 (рисунок 4.3) и вычисляем снижение бровки верха земляного полотна  $\Delta h$  и ширину  $B$ .



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

Рисунок 4.3 – Конструкция дорожной одежды и земполотна в насыпи

Из рисунка 4.3 и формулы (3.30) следует, что

$$\Delta Y = i_0(a-c) + i_n \cdot (b+c) = 0,04 \cdot (2,50 - 0,50) + 0,02 \cdot (3,50 + 0,50) = 0,16 \text{ м.}$$

По формуле (4.2) вычисляем величину  $H_1$  (рисунок 4.1, 4.3):

$$H_1 = H - (i_n - i_m)(0,5b + c) - (i_0 - i_m)(a - c) = 0,50 - (0,020 - 0,030) \cdot (3,50 + 0,50) - (0,04 - 0,03) \cdot (2,50 - 0,50) = 0,52 \text{ м.}$$

Снижение бровки верха земляного полотна определяем по (4.1):

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

Вычисляем ширину верха земляного полотна по формуле (4.3):

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

**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):

$$W_H = (Bh + mh^2 + 0,25 \cdot i_n B^2) \cdot l = (16,64 \cdot 0,92 + 4 \cdot 0,92^2 + 0,25 \cdot 0,030 \cdot 16,64^2) \cdot 100 = 2077 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя по формуле (4.6):

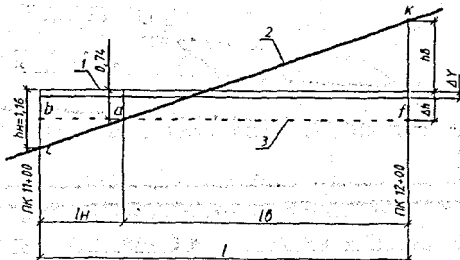
$$W_{nc} = (B + 2 \cdot m \cdot h) \cdot h_{nc} \cdot l = (16,64 + 2 \cdot 4 \cdot 0,92) \cdot 0,10 \cdot 100 = 240 \text{ м}^3.$$

Общий объем насыпи по формуле (4.7):

$$W_{но} = W_n + W_{nc} = 2077 + 240 = 2317 \text{ м}^3.$$

**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 (рисунок 4.4). Найдем длину участка насыпи  $l_n$  и выемки  $l_b$ .



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

Длина участка насыпи  $l_n$

$$l_n = l \frac{h_n - \Delta h}{h_n + h_b} = 100 \cdot \frac{1,16 - 0,74}{1,16 + 1,00} = 19,44 \text{ м.}$$

Длина участка выемки  $l_b$

$$l_b = l \frac{h_n - \Delta h}{h_n + h_b} = \frac{1,00 - 0,74}{1,16 + 1,00} \cdot 100 = 80,56 \text{ м.}$$

или  $l_b = 100 - l_n = 100 - 19,44 = 80,56 \text{ м.}$

Высота насыпи на ПК11+19,44 равна нулю. Средняя высота насыпи на участке ПК11+00 – ПК11+19,44 (рисунок 4.4):

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

Объем насыпи на участке ПК11+00 – ПК11+19,44 вычислим по формуле (4.4):

$$W_n = (16,64 \cdot 0,21 + 4 \cdot 0,21^2 + 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 19,44 = 111,73 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя определим по формуле (4.6):

$$W_{nc} = (16,64 + 2 \cdot 4 \cdot 0,21) \cdot 0,10 \cdot 19,44 = 35,61 \text{ м}^3.$$

Общий объем насыпи

$$W_{но} = 111,73 + 35,61 = 147,34 \approx 147 \text{ м}^3.$$

**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 (4.12):

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

Ширину низа выемки вычислим по формуле (4.11):

$$B_1 = B + 2 \cdot (m_1 + m) \cdot (h_k - \Delta h + \Delta Y) + 2 \cdot a_k = 16,64 + 2 \cdot (1,5 + 4) \cdot (1,2 - 0,74 + 0,16) + 2 \cdot 0,4 = 24,26 \text{ м.}$$

Объем выемки на участке ПК12 – ПК13 вычислим по формуле (4.10):

$$W_B = (B_1 \cdot h + m_1 \cdot h^2 - 0,25 \cdot i_m \cdot B^2) \cdot L = (24,26 \cdot 2,24 + 1,5 \cdot 2,24^2 - 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 100 = 5979 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя по формуле (4.13):

$$W_{nc} = (B_1 + 2 \cdot m_1 \cdot h) \cdot h_{nc} \cdot L = (24,26 + 3 \cdot 2,24) \cdot 0,10 \cdot 100 = 309,8 \text{ м}^3.$$

Общий объем выемки на участке ПК12–ПК13

$$W_{во} = 5979 - 310 = 5669 \text{ м}^3.$$

**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+19,44. Глубина выемки на ПК11+19,44 равна нулю.

Выемка на участке ПК11+19,44 – ПК12+00 имеет среднюю глубину (рис. 4.4)

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

Объем выемки на участке ПК11+19,44 – ПК12+00 вычислим по формуле (4.10):

$$W_B = (24,26 \cdot 0,87 + 1,5 \cdot 0,87^2 - 0,25 \cdot 0,03 \cdot 16,64^2) \cdot 80,56 = 1604 \text{ м}^3.$$

Объем плодородного слоя на участке ПК11+19,44 – ПК12+00 по формуле (4.13):

$$W_{nc} = (24,26 + 2 \cdot 1,5 \cdot 0,87) \cdot 0,10 \cdot 79,56 = 213,78 \text{ м}^3.$$

Общий объем выемки на участке ПК11+19,44 – ПК12+00:

$$W_{во} = 1604 - 213,78 = 1390 \text{ м}^3.$$

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

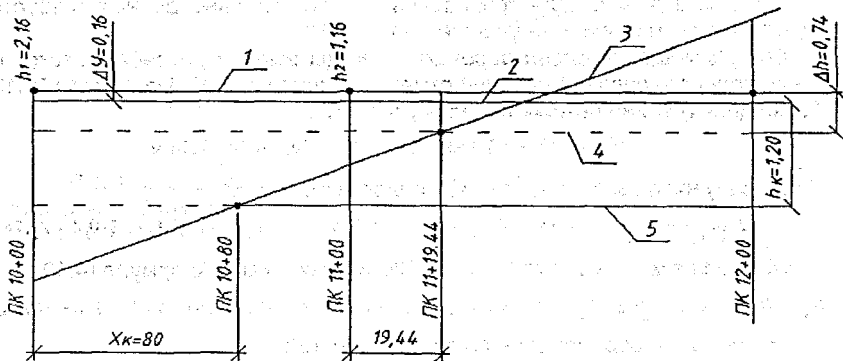
По формуле (3.14) вычислим высоту насыпи, при которой начинается кювет:

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

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

Вычисляем значение  $X_k$  (рисунок 4.5) по формуле (3.32):

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



1 – проектная линия; 2 – бровка обочины; 3 – черный профиль;  
4 – бровка верха земляного полотна; 5 – дно кювета  
**Рисунок 4.5 – Схема к определению объема кюветов**

Таким образом, на участке ПК10–ПК13 кювет проектируется на протяжении 280 м (от ПК10+80 до ПК13+00). Площадь поперечного сечения кювета (рисунок 4.2) имеет форму трапеции высотой  $h_{к0} = h_k - \Delta h + \Delta y = 1,2 - 0,74 + 0,16 = 0,62$  м на участке от ПК11+19,44 до ПК13+00. На участке от ПК11+19,44 до ПК10+80 высота трапеции (глубина кювета) уменьшается до нуля. На ПК11+00 она равна  $h_{к0} = h_k + \Delta y - h_2 = 1,20 + 0,16 - 1,16 = 0,20$  м.

Среднее значение этой высоты  $0,5 \cdot (0 + 0,20) = 0,10$  на участке ПК10+80–ПК11+00 и  $0,5 \cdot (0,20 + 0,61) = 0,41$  на участке ПК11+00–ПК11+19,44.

По формуле (4.18) вычислим объем кюветов на участках:

а) ПК10+80 – ПК11+00

$$W_k = [2a_k \cdot h_{k1} + (m + m_1) \cdot h_{k1}^2] \cdot l_1 = [2 \cdot 0,4 \cdot 0,1 + (1,5 + 4,0) \cdot 0,1^2] \cdot 20 = 3,18 = 3 \text{ м}^3.$$

б) ПК11+00 – ПК11+19,44

$$W_k = [2 \cdot 0,4 \cdot 0,41 + (1,5 + 4,0) \cdot 0,41^2] \cdot 19,44 = 25 \text{ м}^3.$$

в) ПК11+19,44 – ПК12+00

$$W_{кв} = [2 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + (1,5 + 4,0) \cdot 0,62^2] \cdot 80,56 = 208,8 \text{ м}^3.$$

г) ПК12+00 – ПК13+00

$$W_k = [2 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + (1,5 + 4,0) \cdot 0,62^2] \cdot 100 = 261 \text{ м}^3.$$

## 4.2 Определение объемов планировочных работ

Площади откосов выемок  $A_v$ , насыпей  $A_n$ , дна кюветов  $A_{дн}$ , закуветной полки  $A_{п}$  вычисляются по формулам:

а) выемка

$$A_v = 2 \cdot [l_2 \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} + \Delta y \right) + (l_1 + l_2) \cdot h_k] \cdot l; \quad (4.21)$$

б) насыпь высотой откоса до 6 м

$$A_n = 2 \cdot l_2 \cdot \left( \frac{h_1 + h_2}{2} - \Delta Y \right) \cdot l; \quad (4.22)$$

в) насыпь высотой откоса более 6 м

$$A_n = 2 \cdot \left[ 6 \cdot l_2 + \left( \frac{h_1 + h_2}{2} - \Delta Y - 6 \right) \cdot l_3 \right] \cdot l; \quad (4.23)$$

г) дно кюветов (кювет-резервов)

$$A_{\text{дн}} = 2 \cdot a_k \cdot l; \quad (4.24)$$

д) закюветных полок

$$A_n = 2 \cdot a_n \cdot l; \quad (4.25)$$

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 (3.30);  $h_k$  – глубина кювета;  $a_k$  – ширина по дну кювета (кювет-резерва);  $a_n$  – ширина закюветной полосы;  $l_1, l_2, l_3$  – длины образующих откоса при высоте откоса, равной 1 м:

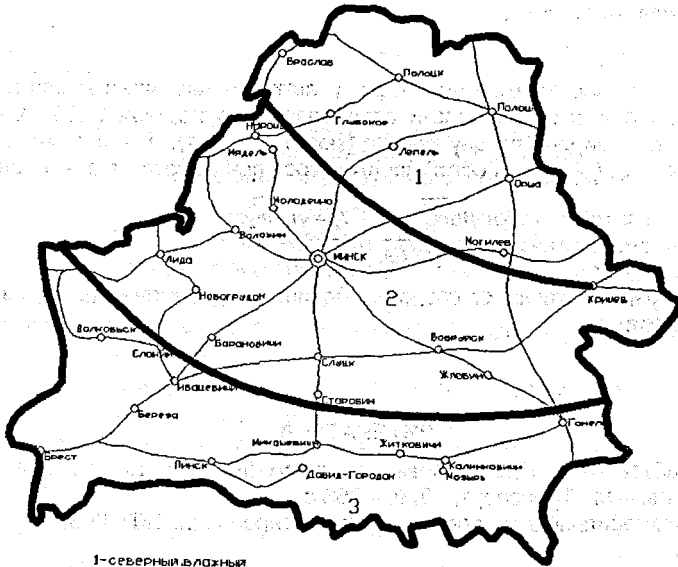
$$\begin{aligned} l_1 &= \sqrt{1 + m_1^2}; & l_2 &= \sqrt{1 + m_2^2}; \\ l_3 &= \sqrt{1 + (m_2 + 0,25)^2}, \end{aligned} \quad (4.26)$$

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. Ксенодохов, В.И. Таблицы для проектирования и разбивки кло-тоидной трассы автомобильных дорог / В.И. Ксенодохов. – М.: Транспорт, 1969. – 430 с.
4. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования: ТКП 200-2009. – Минск, 2009.

Дорожно-климатическое районирование  
территории Республики Беларусь



- 1-северный,влажный
- 2-центральный,умеренно-влажный
- 3-южный,неустойчиво-влажный

— автомобильные дороги  
**—** границы дорожно-климатических районов



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Характеристики автомобилей

№ пп.	Наименование параметров	Измерители	ЛАЗ 695	ГАЗ-24	ВАЗ 2103	ЗИЛ 130	Камаз 5320
1	Полная масса	кг	10260	1825	1345	8600	15305
2	Сцепной вес автомобиля	кН	66,7	9,55	4,74	58,9	109,3
3	Передаточные числа коробки передач:						
	1 передача	-	7,40	3,50	3,75	7,45	7,82/6,38
	2 «-»	-	4,10	2,26	2,30	4,10	4,03/3,20
	3 «-»	-	2,29	1,45	1,49	2,29	2,5/2,04
	4 «-»	-	1,47	1,00	1,00	1,47	1,53/1,25
5 «-»	-	1,03	-	-	1,00	1,00/0,81	
	главная передача	-	7,63	4,10	4,1	6,45	7,22/6,54
4	Максимальная мощность двигателя	кВт л.с.	110 150	72 98	57 77	110 150	154 210
5	Число оборотов коленчатого вала при максимальной мощности	об/мин	2800	4500	5600	3200	2600
6	Ширина кузова	м	2,50	1,80	1,61	2,50	2,50
7	Высота автомобиля	м	3,05	1,49	1,45	2,31	3,65
8	Ширина колеи	м	1,74	1,42	1,32	1,79	1,85
9	Длина автомобиля	м	9,22	4,74	4,12	6,68	7,44
10	Длина автомобиля без заднего свеса	м	6,35	3,56	3,04	4,88	5,78
11	Радиус качения	м	0,50	0,31	0,29	0,49	0,48
12	Максимальная скорость	км/ч	75	145	150	90	80-100
13	Грузоподъемность	кг	-	-	-	5000	8000
14	Возвышение фар	м	0,80	0,8	0,7	1,40	1,35
15	Критическая и максимальная скорости на передачах:						
	2	км/ч	10-20	35-60	30-50	10-20	10-30
	3	км/ч	20-35	50-90	40-90	20-30	20-40
	4	км/ч	35-50	60-	60-	30-50	30-50
	5	км/ч	50-75	145	150	50-90	50-80

## СОДЕРЖАНИЕ

СОСТАВ КУРСОВОГО 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 .....	6
1.3.1. Вертикальные кривые .....	6
1.3.2. Горизонтальные кривые .....	7
1.4. Расчет ширины проезжей части и дорожного полотна .....	7
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ МАЛОГО РАДИУСА .....	10
2.1. Проектирование кругового закругления .....	10
2.2. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса .....	11
2.3. Проектирование поперечного профиля закругления .....	13
2.4. Проектирование отгона виража на автомобильной дороге с двухполосной проезжей частью .....	14
2.4.1. Проектирование отгона виража при $i_v > i_n$ .....	14
2.4.2. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража двухполосных дорог .....	18
2.4.3. Пример проектирования отгона виража .....	18
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ .....	23
3.1. План трассы автомобильной дороги .....	23
3.1.1. Проложение вариантов плана трассы .....	23
3.1.2. Подбор радиусов круговых и длин переходных кривых закруглений .....	24
3.1.3. Пикетаж и составление ведомости прямых и кривых .....	25
3.1.4. Составление чертежа «План трассы» .....	26
3.2. Продольный профиль .....	28
3.2.1. Нанесение исходной информации .....	29
3.2.2. Назначение контрольных и руководящих отметок .....	31
3.2.3. Составление варианта проектной линии .....	34
3.2.4. Проектирование кюветов .....	37
3.2.5. Нанесение геологического профиля .....	42
3.2.6. Оформление чертежа «Продольный профиль» .....	43
3.3. Поперечные профили земляного полотна .....	43
3.3.1. Типовые поперечные профили насыпей .....	43
3.3.2. Типовые поперечные профили выемок .....	44
3.4. Конструкция дорожной одежды .....	46
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАБОТ .....	48
4.1. Определение объемов земляных работ .....	48
4.1.1. Определение объемов насыпей .....	48
4.1.2. Определение объемов выемок .....	49
4.1.3. Определение объемов присыпных обочин .....	50
4.1.4. Определение объемов кюветов .....	50
4.1.5. Примеры вычисления объемов земляных работ .....	50
4.2. Определение объемов планировочных работ .....	54
ЛИТЕРАТУРА .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	57

**Учебное издание**

**Составители:**

*Чумичева Наталья Валентиновна*

*Климович Елена Станиславовна*

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению курсового проекта № 1

**«Проект участка автомобильной дороги»**

для студентов специальности 1-70 03 01

**«Автомобильные дороги»**

Ответственный за выпуск: *Н.В.Чумичева*

Редактор: *Т.В.Строкач*

Компьютерный набор: *Н.А.Казиминова*

Компьютерная вёрстка: *Кармаш Е.Л.*

Корректор: *Никитчик Е.В.*

---

Подписано к печати 27.09.2011 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Arial.

Усл. п. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3,75. Тираж 75 экз. Заказ № 832.

Отпечатано на ризографе Учреждение образования

«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.