



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Проектирование дорог»

**И. К. Яцевич
Е. И. Кононова**

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебно-методическое пособие

**Минск
БНТУ
2016**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Проектирование дорог»

И. К. Яцевич
Е. И. Кононова

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2016

УДК 625.7/.8(075.8)
ББК 39.311я7
Я92

Р е ц е н з е н т ы :

главный инженер ГП «Белгипродор» *П. П. Невмержицкий*;
заведующий кафедрой «Лесные дороги и организация
вывозки древесины» *М. Т. Насковец*

Яцевич, И. К.

Я92 Основы проектирования автомобильных дорог : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И. К. Яцевич, Е. И. Кононова. – Минск : БНТУ, 2016. – 104 с.

ISBN 978-985-550-820-6.

В пособии рассмотрены вопросы проектирования автомобильных дорог применительно к выполнению курсового проекта «Основы проектирования» студентами специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

В издании приведены классификации автомобильных дорог, детально изложена методика проектирования плана трассы, предложена методика проектирования продольного профиля трассы автомобильной дороги с пошаговым контролем выполняемых расчетов, а также даны рекомендации по проектированию поперечных профилей земляного полотна.

УДК 625.7/.8(075.8)
ББК 39.311я7

ISBN 978-985-550-820-6

© Яцевич И. К., Кононова Е. И., 2016
© Белорусский национальный
технический университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ	7
1.1. Установление категории автомобильной дороги	7
1.2. Назначение элементов дорожного полотна	8
1.3. Назначение параметров трассы автомобильной дороги	10
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ МАЛОГО РАДИУСА	13
2.1. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса	13
2.2. Проектирование поперечного профиля закругления	17
2.3. Проектирование отгона виража на автомобильной дороге с двухполосной проезжей частью	19
2.3.1. Проектирование отгона виража при $i_v = i_{п}$	19
2.3.2. Проектирование отгона виража при $i_v > i_{п}$	22
2.3.3. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража двухполосных дорог	26
2.3.4. Примеры проектирования отгона виража	27
2.4. Проектирование отгона виража на дорогах I категории	40
2.4.1. Проектирование отгона виража внешней проезжей части	40
2.4.2. Проектирование отгона виража внутренней проезжей части ($i_v > i_{п}$)	43
2.4.3. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража на дорогах I категории	44
2.5. Составление чертежа «Отгон виража»	44
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ	47
3.1. План автомобильной дороги	47
3.1.1. Проектирование плана трассы автомобильной дороги	47
3.1.2. Составление чертежа «План дороги»	57
3.1.3. Определение глобальных координат основных точек закругления	58
3.2. Продольный профиль автомобильной дороги	60

3.2.1. Построение черного профиля.....	63
3.2.2. Назначение контрольных и руководящих рабочих отметок	65
3.2.3. Обоснование параметров продольного профиля трассы дороги.....	69
3.2.4. Составление чертежа «Продольный профиль трассы».....	78
3.2.5. Составление чертежа «Продольный профиль дороги».....	81
3.2.6. Проектирование кюветов.....	87
3.2.7. Нанесение геологического профиля	95
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА	97
4.1. Земляное полотно и общие требования к нему	97
4.2. Типовые поперечные профили насыпей	98
4.3. Типовые поперечные профили выемок	101
Литература	103
ПРИЛОЖЕНИЕ	104

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильная дорога – комплекс инженерных сооружений, предназначенных для движения транспортных средств с установленными скоростями, нагрузками и габаритами.

Автомобильная дорога, как комплекс инженерных сооружений, включает земляное полотно, дорожную одежду, мосты, путепроводы, технические средства организации дорожного движения, инженерное оборудование и обустройство, защитные сооружения, а также расположенные на ней объекты дорожного сервиса.

Для размещения автомобильной дороги, объектов дорожного сервиса, а также зданий и сооружений, предназначенных для ее содержания, владельцу автомобильной дороги предоставляется земельный участок, называемый полосой отвода.

Объекты дорожного сервиса – здания и сооружения, расположенные в пределах полосы отвода и предназначенные для обслуживания участников дорожного движения (остановочные пункты автобусов, площадки для кратковременной остановки транспортных средств).

В Республике Беларусь различают автомобильные дороги общего пользования и необщего пользования. Автомобильная дорога общего пользования предназначена для использования любым лицом (физическим или юридическим) с учетом требований, установленных законодательством Республики Беларусь. Такие дороги делятся на классы и категории. Автомобильная дорога необщего пользования предназначена для использования в порядке, определяемом ее владельцем.

Для обеспечения сохранности автомобильных дорог общего пользования и создания необходимых условий для их содержания, ремонта и развития (строительства, реконструкции) предназначены придорожные полосы (контролируемые зоны) шириной до 100 м в обе стороны от оси автомобильной дороги, а в населенных пунктах – до линии застройки.

В придорожной полосе могут размещаться объекты придорожного сервиса, предназначенные для обслуживания участников дорожного движения в пути следования (мотели, гостиницы, кемпинги, станции технического обслуживания, автозаправочные станции, пункты питания, торговли, связи, медицинской помощи, мойки, средства рекламы).

Автомобильные дороги общего пользования в Республике Беларусь в зависимости от функционального назначения подразделяются на республиканские и местные.

К республиканским относятся дороги, включенные в сеть международных автомобильных дорог (например, Е 30), а также автомобильные дороги, обеспечивающие транспортные связи:

- столицы Республики Беларусь (г. Минск) с административными центрами областей, с Национальным аэропортом «Минск»;
- административные центры областей между собой;
- административные центры областей с административными центрами районов, с аэропортами;
- административные центры районов между собой по одному из направлений;
- пунктов пропуска через границу.

К местным относят остальные автомобильные дороги общего пользования. Они обеспечивают транспортные связи сельских населенных пунктов с районными центрами, а также между собой.

Автомобильные дороги общего пользования должны иметь наименования и номера. Номер состоит из букв алфавита и группы цифр. Номера республиканских дорог начинаются с буквы Р, а местных с буквы Н. Например, республиканская автомобильная дорога Минск–Молодечно–Нарочь имеет номер Р28. Важнейшим республиканским дорогам присвоена буква М.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Автомобильная дорога – линейное сооружение. Положение автомобильной дороги в пространстве определяет ее ось. На двухполосной проезжей части она совпадает с осью проезжей части. Ось дороги называется трассой. Различают две проекции трассы. Горизонтальная проекция – план трассы, вертикальная – продольный профиль трассы. В поперечном направлении основным элементом является дорожное полотно вне мостов и путепроводов, мостовое полотно на мостах и путепроводах.

Дорога может проходить выше поверхности земли (в насыпи) или ниже ее поверхности (в выемке).

Основные технические нормативы дорожного полотна, плана и продольного профиля определяет категория автомобильной дороги.

1.1. Установление категории автомобильной дороги

Категория дороги назначается по расчетной интенсивности движения N_t .

Расчетной интенсивностью движения является количество автомобилей (ед./сут), которое будет проходить через поперечное сечение автомобильной дороги (в обоих направлениях) в сутки за последний год перспективного периода, равного 20 годам.

Расчетная интенсивность движения определяется по формуле

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

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

p – ежегодный прирост интенсивности, %;

t – расчетный период ($t = 20$ лет).

По расчетной интенсивности движения с помощью табл. 1.1 определяют категорию дороги.

Таблица 1.1

Классификация автомобильных дорог

Класс дороги	Категория дороги	Область применения	Расчетная интенсивность движения, ед./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, кольцевым дорогам вокруг крупнейших городов	Более 10 000	–	120
Автомобильные дороги	I-в	В остальных случаях	Более 10 000	–	120
	II		5000–10 000	Более 7000	120
	III		2000–5000	3000–7000	100
	IV		200–2000	400–3000	80
	V		До 200	До 400	60
Автомобильные дороги низких категорий	VI-а	Подъезды к малым сельским поселениям	–	25–50	40
	VI-б		–	До 25	30

1.2. Назначение элементов дорожного полотна

Дорожное полотно включает в себя проезжую часть, обочины, разделительную полосу на дорогах I категории, укрепительные полосы на обочинах и на разделительной полосе. На дорогах I категории на обочинах предусмотрена остановочная полоса.

Дорожное полотно на дорогах II–V категорий проектируют с двухполосной проезжей частью. Поперечный профиль дороги с двухполосной проезжей частью, проходящей в насыпи, показан на рис. 1.1.

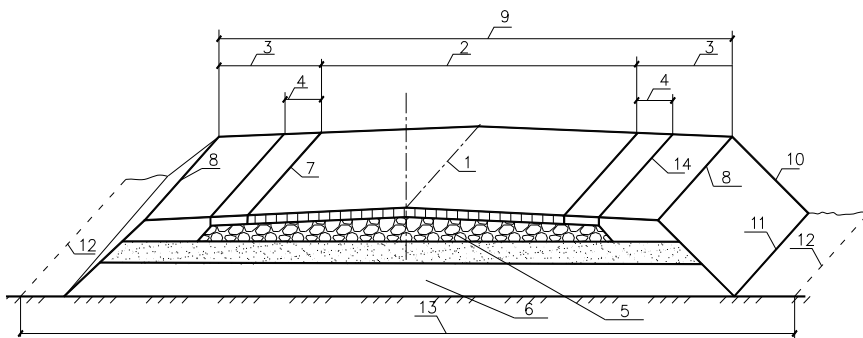


Рис. 1.1. Поперечный профиль автомобильной дороги с двумя полосами движения: 1 – ось дороги; 2 – проезжая часть; 3 – обочина; 4 – укрепленная полоса; 5 – дорожная одежда; 6 – земляное полотно (насыпь); 7 – кромка проезжей части; 8 – бровка обочины; 9 – дорожное полотно; 10 – откос насыпи; 11 – подошва насыпи; 12 – канава; 13 – полоса отвода; 14 – кромка укрепленной полосы

В поперечном профиле выделяют проезжую часть 2, обочины 3, составляющие вместе с проезжей частью дорожное полотно 9. Проезжая часть предназначена для движения транспортных средств и ограничивается кромками проезжей части 7. Обочины необходимы для вынужденной остановки автомобилей. На них для повышения безопасности движения устраиваются укрепленные полосы 4.

Для обеспечения хороших транспортно-эксплуатационных свойств проезжая часть автомобильной дороги должна быть достаточно ровной, прочной и шероховатой. Поэтому ее проектируют в виде дорожной одежды, укладываемой на земляное полотно.

На многополосных автомобильных дорогах (рис. 1.2) между проезжими частями 2 встречных направлений движения вводится разделительная полоса 1, предназначенная для повышения безопасности движения. На разделительной полосе предусматривают укрепленные полосы 5. Кроме того, на обочине 3 могут устраиваться остановочные полосы 4 для аварийной остановки автомобилей.

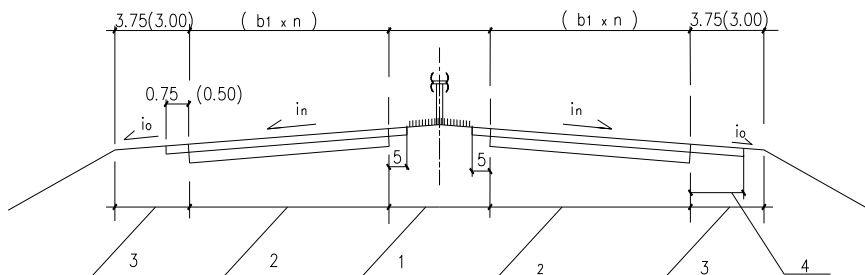


Рис. 1.2. Поперечный профиль автомобильной дороги с многополосной проезжей частью:

1 – разделительная полоса; 2 – проезжая часть; 3 – обочина;
4 – остановочная полоса; 5 – укрепленная полоса

Параметры дорожного полотна дороги принимаются по табл. 1.2

Таблица 1.2

Элементы дорожного полотна

Наименование элементов	Значение элементов для категорий					
	I-a	I-б, I-в	II	III	IV	V
Число полос движения	4	4	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	0,75	0,5	0,75	0,50	0,50	–
остановочной, м	2,5	2,5	–	–	–	–
Наименьшая ширина разделительной полосы, м	2,7	2,7	–	–	–	–
в том числе:						
укрепленной полосы	0,75	0,50				
Ширина дорожного полотна	25,2	22,7	13	12	10	8

1.3. Назначение параметров трассы автомобильной дороги

Трасса автомобильной дороги – ось двухполосной автомобильной дороги или проезжей части правой или левой полосы дорожного полотна многополосных дорог I категории.

Трасса автомобильной дороги – пространственная линия. Горизонтальная проекция трассы – план трассы; вертикальная – продольный профиль. План и продольный профиль трассы состоит из прямых и кривых (горизонтальных и вертикальных).

В курсовом проекте применяют вертикальные кривые (выпуклые и вогнутые) постоянной кривизны радиусами R . Радиусы выпуклых (вогнутых) кривых следует принимать не менее рекомендуемых. Рекомендуемые радиусы выпуклых кривых не менее 70 000 м на дорогах I-а категории и не менее 25 000 м на дорогах I-б–IV категорий, рекомендуемый радиус вогнутых кривых не менее 8000 м на дорогах I–IV категорий. Рекомендуемый продольный уклон трассы – 40 ‰. В трудных условиях пересеченной местности с целью уменьшения стоимости строительства допускается уменьшить их до минимально допустимых (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Допускаемые параметры продольного профиля трассы

Категория дороги	I-а	I-б, I-в, II	III	IV	V
Расчетная скорость (основная), км/ч	140	120	100	80	60
$R_{\text{вып мин}}$, м	25 000	15 000	8000	4000	1500
$R_{\text{вог мин}}$, 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, меньше приведенных на 20 км/ч.

План трассы состоит из прямых и горизонтальных кривых. Рекомендуемый радиус кривизны горизонтальных кривых по ТКП [2] не меньше значений, приведенных в табл. 1.4

Таблица 1.4

Допускаемые параметры плана трассы

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100, 80
Радиус кривизны, м	3000	2000	1200

Если по условиям местности невозможно запроектировать закругление с большими радиусами, чем приведенные в табл. 1.4, то допускается уменьшать радиус горизонтальных кривых до минимального. Он вычисляется по формуле

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(\mu + i_{\text{в}})}, \text{ м,}$$

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

μ – коэффициент поперечной силы по условиям удобства пассажиров

$$\mu = 0,2 - 7,5 \cdot 10^{-4} V, \quad (1.1)$$

$i_{\text{в}}$ – максимальный уклон виража в северном дорожно-климатическом районе – 0,040, в центральном – 0,045 и в южном – 0,050. Деление территории Республики Беларусь на климатические районы приведено в приложении.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЯ МАЛОГО РАДИУСА

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

2.1. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса

Схема закругления малого радиуса представлена на рис. 2.1.

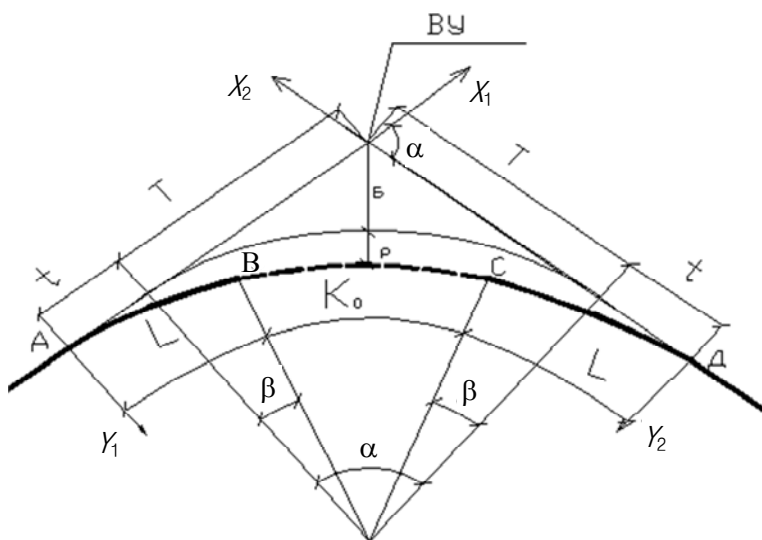


Рис. 2.1. Элементы закругления с симметричными переходными кривыми

Проектирование плана закругления малого радиуса ведется в следующей последовательности.

Определяется длина переходной кривой L по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Наименьшие длины переходных кривых, м

Радиусы круговых кривых, м	Категории дорог		
	I-a	I-б, I-в, II, III	IV-V
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
500	–	130	140
400	–	–	150
300	–	–	130
250	–	–	100
200	–	–	90
150	–	–	80

Далее находят угол β , на который уменьшается круговая кривая при вписывании одной переходной кривой:

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

Затем проверяют условие возможности разбивки закругления с переходной кривой:

$$\alpha \geq 2\beta, \quad (2.1)$$

где α – угол поворота трассы (по заданию).

Если условие (2.1) не выполнено, следует изменить длину переходной кривой или угол поворота трассы.

На следующем этапе вычисляют длину круговой кривой K_0 :

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

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

Координаты переходной кривой

$$X = S - \frac{S^5}{40A^4}, \quad Y = \frac{S^3}{6A^2} - \frac{S^7}{336A^6}, \quad (2.2)$$

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:

$$t = X_B - R \sin \beta; \quad p = Y_B - R(1 - \cos \beta), \quad (2.3)$$

где X_B и Y_B – координаты конца переходной кривой, которые определяют по формуле (2.2), принимая $S = L$.

Вычисляют тангенс T и домер D :

$$T = (R + p) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

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

Пикетное положение основных точек закругления определяют по формулам:

- т. А (начало закругления) НЗ = ВУ – $(T + t)$;
- т. В (начало круговой кривой) НКК = НЗ + L ;
- т. С (конец круговой кривой) ККК = НЗ + $L + K_0$;
- т. Д (конец закругления) КЗ = НЗ + $2L + K_0$.

Полученные результаты расчета основных параметров закругления сводят в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Параметры закругления

Характеристика закругления на пикете ...+...									
α	R	L	T	t	K_0	Д	НЗ	СЗ	КЗ

Для выноски переходной кривой вычисляют координаты X и Y по формулам (2.2), а для выноски круговой кривой (до ее середины) вычисляют по следующим формулам:

$$\begin{cases} x = t + R \sin\left(\frac{\beta + (S - L)180}{R\pi}\right), \text{ м}; \\ y = p + R - R \cos\left(\frac{\beta + (S - L)180}{R\pi}\right), \text{ м}, \end{cases}$$

где t, p – смещение и сдвигка, вычисленные по формулам (2.3);

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

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

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

Вычисленные значения координат x и y в пояснительной записке заносят в таблицу (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Определение координат закругления

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

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

2.2. Проектирование поперечного профиля закругления

Элементы поперечного профиля принимают в соответствии с категорией дороги (см. табл. 1.2). При радиусах 500 м и менее назначают уширения двухполосной проезжей части в соответствии с табл. 2.4.

Таблица 2.4

Уширение 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. Ширина оставшейся обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I и II категории и не менее 1 м для III–V категорий. Размер уширения постоянен в пределах круговой кривой K_0 радиусом 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 меньше, приведенных в табл. 2.5, проезжая часть имеет односкатный поперечный профиль (вираж).

Таблица 2.5

Радиусы кривизны при односкатном поперечном профиле

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60
Радиус кривизны, м	3000	2000	2000	2000	1000

Максимальный уклон виража i_v определяется по формуле

$$i_v = \frac{V^2}{127R} - \mu, \quad (2.4)$$

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

R – радиус круговой кривой, м;

μ – коэффициент поперечной силы, определяется по формуле (1.1).

Полученный по формуле (2.4) уклон виража сопоставляется с требованиями ТКП [2], приведенными в табл. 2.6. В расчет принимается большее значение уклона виража. 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 $i_{п.}$. Поэтому в случае, если расчетом получено $i_v < i_{п.}$, принимают $i_v = i_{п.}$. Минимальный поперечный уклон проезжей части принимается 20 ‰ на двухполосных дорогах и 25 ‰ – на дорогах I категории.

Таблица 2.6

Минимальный радиус круговой кривой

Уклон виража, ‰	Категории дорог		
	I-а	I-б, I-в, II–IV	V
20 (25)	1330	850	540
30	1240	800	510
40	1150	750	480
50	1060	700	450

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

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

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

На закруглении плана трассы с переходными кривыми проектируют два отгона виража. Первый 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:

$$i_b = i_{\text{п}};$$

$$i_b > i_{\text{п}}.$$

2.3.1. Проектирование отгона виража при $i_b = i_{\text{п}}$

В случае $i_b = i_{\text{п}}$ (рис. 2.2) радиусы горизонтальных кривых трассы (см. табл. 2.6) не менее 850 м для дорог II–IV категорий, не менее 540 м для дорог V категории. Уширение проезжей части не производится. Отгон виража принимается минимальной длины, исходя из допустимого дополнительного уклона $i_{\text{д}}$ внешней кромки проезжей части:

$$L_1 = \frac{b i_{\text{п}}}{i_{\text{д}}}, \quad (2.5)$$

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

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

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

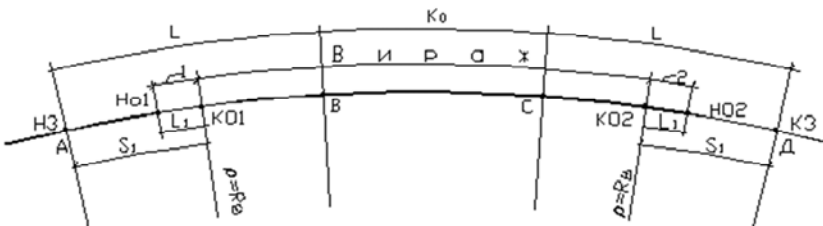


Рис. 2.2. Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае $i_b = i_{\text{п}}$:

1 – первый отгон виража; 2 – второй отгон виража

Пикетное положение начала первого отгона виража (НО1) равно

$$\text{ПК(НО1)} = \text{НЗ} + S_1 - L_1, \quad (2.6)$$

где НЗ – пикетное положение начала закругления;

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

L_1 – минимальная длина отгона виража, определяется по формуле (2.5).

$$S_1 = \frac{LR}{R_B}, \quad (2.7)$$

где R – радиус круговой кривой, следующей за переходной;

R_B – радиус кривизны переходной кривой, при которой назначается вираж, принимается по табл. 2.5.

Если $S_1 < L_1$, следует принимать $S_1 = L_1$.

Пикетное положение начала второго отгона виража НО2 (см. рис. 2.2)

$$\text{ПК(НО2)} = \text{КЗ} - S_1 + L_1, \quad (2.8)$$

где КЗ – пикетное положение конца закругления.

Пикетное положение конца первого отгона виража определяется по формуле

$$\text{ПК(КО1)} = \text{НЗ} + S_1, \quad (2.9)$$

второго отгона

$$\text{ПК(КО2)} = \text{КЗ} - S_1. \quad (2.10)$$

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

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

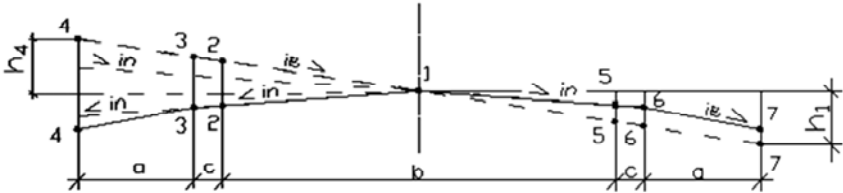


Рис. 2.3. Линии поперечного профиля дорожного полотна:

1 – ось дороги; 2, 5 – внешняя и внутренняя кромки проезжей части;

3, 6 – кромки укрепленной полосы; 4, 7 – внешняя и внутренняя бровки обочины

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

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

$$h_1^0 = 0; \quad h_2^0 = h_3^0 = -i_n b_1; \quad h_3^0 = h_6^0 = -i_n (b_1 + c);$$

$$h_4^0 = h_7^0 = h_3^0 - i_0 (a - c), \quad (2.11)$$

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

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

i_n, i_0 – уклон обочины и проезжей части.

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

$$h_1^{k1} = 0; \quad h_2^{k1} = i_n b_1; \quad h_3^{k1} = i_n (b_1 + c); \quad h_4^{k1} = i_n (b_1 + a). \quad (2.12)$$

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 (2.11). 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:

$$h_2^i = h_2^0 + i_d l_i. \quad (2.13)$$

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:

$$h_3^i = \frac{h_2^i (b_1 + c)}{b_1}; \quad h_4^i = \frac{h_2^i (b_1 + a)}{b_1}. \quad (2.14)$$

2.3.2. Проектирование отгона виража при $i_b > i_n$

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

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

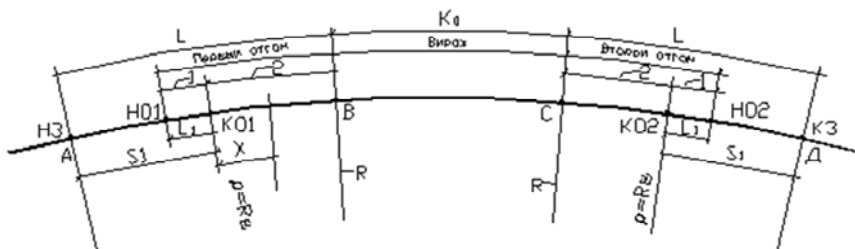


Рис. 2.4. Схема размещения отгонов виража на закруглении с переходной кривой в случае, если $i_b > i_n$:

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

Начало и конец первого участка первого и второго отгонов виража определяются по формулам (2.6), (2.8)–(2.10). На отгонах виража вычисляют относительные отметки основных линий дорожного полотна (см. рис. 2.3) (кромки проезжей части, кромки укрепительных полос, бровок обочин), принимая отметки оси проезжей части равными нулю. Эти отметки вычисляют в начале и в конце участков, а также на пикетах и плюсовых точках кратных 10 (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

На первом участке отгона виража относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляют по методике, приведенной в п. 2.3.1 для случая $i_b = i_n$.

На втором участке отгона виража дополнительный уклон внешней кромки проезжей части

$$i_{д2} = \frac{b_1(i_b - i_n)}{L_2}, \quad (2.15)$$

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

В этом случае уширение проезжей части не предусматривается.

Относительные отметки конечного поперечника второго участка вычисляются по формулам

$$h_1^{K2} = 0; \quad h_2^{K2} = i_B b_1; \quad h_3^{K2} = i_B (b_1 + c); \quad h_4^{K2} = i_B (a + b_1); \quad (2.16)$$

$$h_5^{K2} = -i_B b_1; \quad h_6^{K2} = -i_B (b_1 + c); \quad h_7^{K2} = h_6^{K2} - i_0 (a - c). \quad (2.17)$$

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

Вычисляется относительная отметка внешней кромки проезжей части

$$h_2^x = h_2^{K1} + i_{д2} x, \quad (2.18)$$

где h_2^{K1} – относительная отметка внешней кромки проезжей части конечного поперечника КО1 первого участка отгона виража, определенная по формуле (2.12);

$i_{д2}$ – дополнительный уклон внешней кромки проезжей части, вычисленный по формуле (2.15);

x – расстояние от начала второго участка до рассматриваемого поперечника.

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

$$i_x = \frac{h_2^x}{b_1}, \quad (2.19)$$

$$h_3^x = i_x (b_1 + c); \quad h_4^x = i_x (a + b_1); \quad (2.20)$$

$$h_5^x = -i_x b_1; \quad h_6^x = -i_x (b_1 + c); \quad h_7^x = h_6^x - i_0 (a - c). \quad (2.21)$$

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

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

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

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

$$S_e = \frac{LR}{500}. \quad (2.22)$$

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

$$\text{ПК(ОУ1)} = \text{НЗ} + S_e - 20, \quad (2.23)$$

для второго отгона

$$\text{ПК(ОУ2)} = \text{КЗ} - S_e + 20. \quad (2.24)$$

Величина уширения проезжей части на участке отгона уширения вычисляется по формуле

$$e_x = \frac{ye}{20}, \quad (2.25)$$

где y – расстояние от начала отгона уширения до рассматриваемого поперечника, определяемое как разность пикетного положения поперечника и начала отгона уширения. Если $y \geq 20$, то принимают $e_x = e$.

Так как уширение проезжей части выполняется за счет внутренней обочины, то относительные отметки внешних линий 2, 3 и 4 на втором участке отгона виража вычисляют по формулам (2.16), (2.18), (2.20).

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

$$h_5^{k2} = -i_B(b_1 + e_x), \quad h_6^{k2} = -i_B(b_1 + e_x + c), \quad (2.26)$$

$$h_7^{k2} = h_6^{k2} - i_0(a - e_x - c);$$

на промежуточных поперечниках

$$h_5^x = -i_x(b_1 + e_x); \quad h_6^x = -i_x(b_1 + e_x + c); \quad (2.27)$$

$$h_7^x = h_6^x - i_0(a - e_x - c),$$

где i_x вычисляют по формуле (2.19).

2.3.3. Определение абсолютных отметок основных линий отгонов виража двухполосных дорог

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

Таблица 2.7

Относительные отметки кромок проезжей части

Участок отгона	Положение поперечника		Отметки оси проезжей части (1)	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	54,5	90,14	-0,07	-0,085	-0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	10	60	90,20	-0,04	-0,05	-0,08	-0,07	-0,085	-0,18
	10	70	90,30	0,01	0,01	0,01	-0,07	-0,085	-0,18
	10	80	90,40	0,06	0,07	0,11	-0,07	-0,085	-0,18
	10	82,5	90,42	0,07	0,085	0,13	-0,07	-0,085	-0,18
Второй	10	90	90,50	0,08	0,09	0,14	-0,08	-0,09	-0,18
	11	00	90,60	0,09	0,10	0,16	-0,09	-0,10	-0,19
	12	10,5	91,40	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30
...

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Второй отгон виража									
Второй	13	10,5	92,40	0,175	0,21	0,32	-0,175	-0,21	-0,30
	13	20	93,50	0,17	0,20	0,31	-0,17	-0,20	-0,29
	14	30	93,60	0,08	0,09	0,14	-0,08	-0,09	-0,18
	14	38,5	93,68	0,07	0,085	0,13	-0,07	-0,085	-0,18
	14	40	93,70	0,05	0,06	0,09	-0,07	-0,085	-0,18
Первый	14	50	93,80	0,00	0,00	0,00	-0,07	-0,085	-0,18
	14	60	93,90	-0,05	-5,06	-0,10	-0,07	-0,085	-0,18
	14	66,5	93,96	-0,07	-0,085	-0,13	-0,07	-0,085	-0,18

По данным о параметрах проектной линии вычисляют проектные отметки (отметки оси проезжей части, то есть 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 (п. 2.3.4, пример 2.1, табл. 2.8).

В пояснительной записке приводят таблицу уширения проезжей части на отгонах уширения при радиусах круговой кривой 500 м и меньше (п. 2.3.4, пример 2.2, табл. 2.9).

2.3.4. Примеры проектирования отгона виража

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

Параметры поперечного профиля дороги II технической категории приведены в табл. 1.2 ($b_1 = 3,5$ м, $a = 3,00$ м, $c = 0,75$ м). Принимаем поперечный уклон проезжей части $i_{п} = 20$ ‰, обочин – $i_0 = 40$ ‰.

Решение

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

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

Длину первого участка вычисляют по формуле (2.5):

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

По формуле (2.7) определяют расстояние S_1 до точки, в которой радиус кривизны равен 2000 м:

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

По формулам (2.7) и (2.8) вычисляется пикетное положение начала первого и второго отгонов:

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

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

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



Рис. 2.5. Схема к примеру 2.1:

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

Первый отгон виража. Рассмотрим *первый* участок *первого отгона виража* от ПК 10 + 54,50 до ПК 10 + 82,50 и вычислим превышения линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 на поперечниках 0, 1, 2, 3, 4 в начале участка, на ПК 10 + 60, ПК 10 + 70, ПК 10 + 80 и ПК 10 + 82,5 относительно оси проезжей части (относительно линии 1, см. рис. 2.3). Дополнительный уклон линии 2 равен 5 ‰. Исходный поперечник № 0 (ПК 10 + 54,50).

По формулам (2.9), (2.10) вычисляются относительные отметки линий:

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

$$h_5^0 = -0,07 \text{ м;}$$

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

$$h_5^0 = -0,085 \text{ м;}$$

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

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

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

Вычислим отметку линии 2 по формуле (2.13), зная ее уклон (5 ‰) и расстояние от предыдущего поперечника (5,5 м):

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

Вычислим отметку линий 3 и 4 (см. рис. 2.3), исходя из поперечного уклона внешней полосы проезжей части, пользуясь формулами (2.14):

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

$$h_4^1 = (0,0425 / 3,5)(3,5 + 3,0) = -0,078 = -0,08 \text{ м.}$$

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

Поперечник № 2 (ПК 10 + 70) находится на расстоянии 15,5 м от исходного поперечника (ПК 10 + 54,50). По формуле (2.13) вычисляем относительную отметку кромки проезжей части (линии 2):

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

По формулам (2.14) вычисляем отметки линий 3 и 4:

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

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

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

$$h_2^3 = -0,07 + 0,005 \cdot 25,5 = 0,0575 \text{ м;}$$

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

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

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

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

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

Для контроля вычислим относительные отметки линий 2, 3 и 4 по формуле (2.11)

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

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

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

Рассмотрим *второй участок первого отгона виража* (от ПК10 + 82,50 до ПК12 + 10,50) протяженностью 128 м. На нем односкатный поперечный профиль проезжей части доводится до уклона виража 50 ‰ вращением вокруг оси дороги. Вычислим дополнительный уклон внешней кромки проезжей части по формуле (2.15):

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

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

Поперечник № 5 (ПК10 + 90) расположен на расстоянии 7,50 м от конца первого участка отгона виража. По формуле (2.18) вычислим относительную отметку линии 2 (внешней кромки проезжей части) и по формулам (2.20), (2.21) – линий 3, 4, 5, 6, 7:

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

$$h_5^5 = -h_2^5 = -0,07 \text{ м};$$

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

$$h_6^5 = -0,09 \text{ м};$$

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

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

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

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

$$h_5^6 = -h_2^6 = -0,08 \text{ м};$$

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

$$h_6^6 = -0,10 \text{ м};$$

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

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

Аналогично вычисляем относительные отметки на остальных поперечниках. На последнем поперечнике № 17 (ПК12 + 10,5) для контроля вычисляем относительные отметки по формуле (2.16):

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

$$h_5^{17} = -0,175 \text{ м};$$

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

$$h_6^{17} = -0,21 \text{ м};$$

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

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

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

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 (см. рис. 2.5) на начальном поперечнике № 0 (ПК14 + 66,5) и конечном № 4 (ПК14 + 38,5) равны относительным отметкам этих линий первого участка первого отгона виража на поперечниках № 0 (ПК10 + 54,5) и № 4 (ПК10 + 82,5). Относительные отметки линий 2 вычислим по формуле (2.13), принимая l_i равным 3,5 м для поперечника № 1, 13,5 м – для поперечника № 2 и 23,5 м – для поперечника № 3. По формулам (2.14) определим отметки линий 3 и 4 на поперечниках № 1, 2 и 3:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6 и 7 на поперечниках № 5–17, расположенных на пикетах (14 + 38,5)–(13 + 10,5), вычислим по формулам (2.18), (2.20), (2.21).

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

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

$$h_5^5 = -0,08 \text{ м};$$

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

$$h_6^5 = -0,09 \text{ м};$$

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

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

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

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 табл. 2.7, графа 4.

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

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

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

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

По результатам вычисления абсолютных отметок линий 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7 (см. рис. 2.3) составляется таблица (табл. 2.8) их значений.

Расчет отметок отгона виража

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

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

Необходимо вычислить относительные отметки на участке уширения проезжей части.

Решение

Принимаем данные о поперечном профиле по табл. 1.2. Так как $i_v > i_n$, то отгон виража (первый и второй) состоит из двух участков.

Первый участок. По формуле (2.7) находим

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

По формуле (2.5) определяем протяженность первого участка отгонов виража:

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

Начало первого участка первого и второго отгонов вычислим по формулам (2.6), (2.8):

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

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

Конец первого участка отгонов (см. рис. 2.4):

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

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

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

Второй участок первого отгона заканчивается в конце переходной кривой на пикете $11 + 75$, второй участок второго отгона виража заканчивается на пикете $12 + 75$. Уширение проезжей части начинается на расстоянии S_e от начала переходной кривой, которое вычисляется по формуле (2.22):

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

Положение начала отгона уширения длиной 20 м для первого отгона виража вычислим по формуле (2.23), а для второго – по формуле (2.24):

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

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

Следовательно, на втором участке первого отгона от ПК $11 + 27$ до ПК $11 + 47$ происходит отгон уширения, увеличивается ширина внутренней полосы движения, а ширина внутренней обочины уменьшается на величину e_x , определяемую по формуле (2.25).

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

Уширение

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

Поперечник на пикете $11 + 40$:

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

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

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

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

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

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

На втором участке отгона виража до начала отгона уширения относительные отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляются по формулам (2.18), (2.20), (2.21).

В качестве примера вычислим относительные отметки этих линий на поперечнике № X (ПК 11 + 20), расположенном на расстоянии 57 м от начала второго участка (ПК 10 + 63). Дополнительный уклон внешней кромки проезжей части на втором участке отгона виража длиной 112 м определим по формуле (2.15).

Относительная отметка внешней кромки проезжей части в конце первого участка (односкатный поперечный профиль с уклоном $i = 20 \%$) и в конце второго участка ($i_b = 40 \%$) вычисляется по формулам (2.12):

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

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

Дополнительный уклон внешней кромки 2

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

Отметки линий 2, 3, 4, 5, 6, 7 вычисляются по формулам (2.18), (2.20), (2.21).

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

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

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

$$h_5^x = -0,11 \text{ м};$$

$$h_6^x = -0,15 \text{ м};$$

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

На втором участке первого отгона виража протяженностью от ПК 11 + 27 до 11 + 75 (рис. 2.6) относительные отметки линий 2, 3, 4 вычисляются аналогично по формулам (2.18), (2.20), (2.21)–(2.27), а линий 5, 6, 7 (см. рис. 2.3) с учетом уширения проезжей части по формулам (2.26), (2.27).

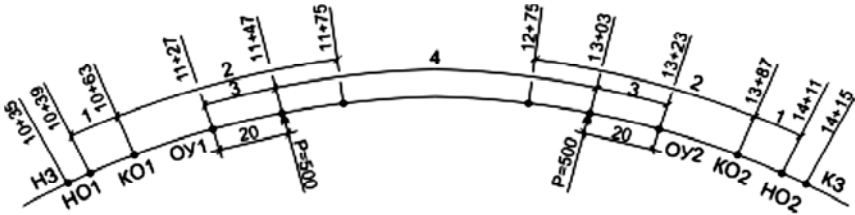


Рис. 2.6. Схема к проектированию отгона (пример 2.2):
1, 2 – первый и второй отгоны виража; 3 – отгон уширения;
4 – уширение проезжей части

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

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

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

$$h_4^n = 0,101 / 3,0 \cdot 5,0 = 0,17 \text{ м};$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

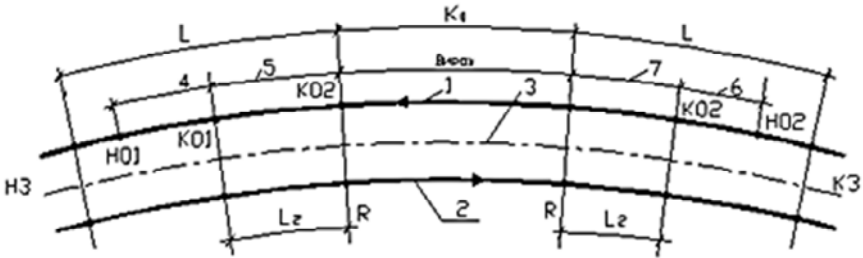
Отгон уширения проезжей части на первом отгоне виража начинается на пикете 11 + 27 и заканчивается на пикете 11 + 47. Отгон уширения проезжей части на втором отгоне виража начинается на пикете 13 + 23 и заканчивается на пикете 13 + 03. Данные о величинах уширения на участках отгонов приводим в виде табл.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

Расчет уширения проезжей части

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

2.4. Проектирование отгона виража на дорогах I категории

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

Рис. 2.7. Схема виража на дороге I категории при $i_B > i_n$ **2.4.1. Проектирование отгона виража внешней проезжей части**

При проектировании отгона виража внешней проезжей части возможны случаи, когда $i_B = i_n$ и $i_B > i_n$.

*Проектирование отгона виража внешней проезжей части
при $i_b = i_n = 0,025$*

Этот случай имеет место при радиусах горизонтальных кривых от 3000 до 1330 м на дороге категории I-а и при радиусах от 2000 до 850 м на дорогах категории I-б и I-в. На внутренней проезжей части поперечный уклон $i_n = 0,025$ не изменяется.

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

Длину отгона виража L_1 определяют по формуле (2.5), принимая значение b равным ширине проезжей части одного направления.

Отгон виража заканчивается на расстоянии S_1 от начала (конца) закругления, определяемого по формуле (2.7), при этом принимаем $R_b = 3000$ для дороги категории I-а и 2000 м – для дороги категории I-б и I-в.

Пикетное положение начала первого отгона виража НО1 и второго НО2 (см. рис. 2.2) определяется по формулам (2.6) и (2.8). Пикетное положение конца первого и второго отгона виража (начала виража) вычисляют по формулам (2.9) и (2.10).

Относительные отметки линий 2, 3, 4 вычисляют по формулам (2.11)–(2.14). Значение внутренней укрепленной полосы со стороны разделительной полосы равно 0,75 м на дороге I-а категории и 0,5 на I-б, I-в. Значения относительных отметок линий 5 и 2 по модулю равны значениям относительных отметок линий 3 и 4 и имеют знак «минус». Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5 вычисляют в начале и конце отгонов, на пикете и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

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

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

В случае $i_b > i_n$ первый и второй отгоны состоят из двух участков (см. рис. 2.7). На первом участке отгона происходит переход от одно-

скатного поперечного профиля проезжей части с уклоном $i_n = 0,025$ во внешнюю сторону закругления (рис. 2.8) к односкатному поперечному профилю с уклоном $i_n = 0,025$ во внутреннюю сторону закругления.

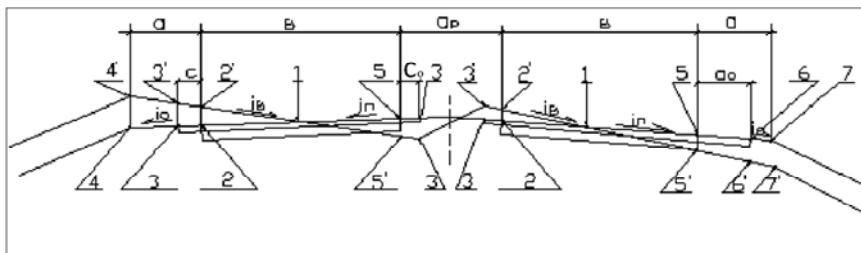


Рис. 2.8. Схема виража внешней проезжей части при $i_b > i_n$:

1 – ось внешней проезжей части; 2, 5 – внешняя и внутренняя кромки внешней и внутренней проезжей части; 3 – кромка укрепленной полосы; 4, 7 – бровки внешней и внутренней обочин; 6 – кромка внутренней укрепленной полосы со стороны разделительной полосы

На втором участке полученный односкатный профиль проезжей части путем вращения ее вокруг оси на оставшейся части переходной кривой доводится до уклона i_b (см. рис. 2.7), соответствующего радиусу круговой кривой (см. табл. 2.6).

Проектирование *первого участка* первого и второго отгонов виража выполняют по методике, изложенной в п. 2.3.1 для случая $i_b = i_n$.

На втором участке отгона виража вычисляют дополнительный уклон внешней кромки внешней проезжей части (линии 2, см. рис. 2.8) по формуле (2.15), принимая значение b_1 равным половине ширины внешней проезжей части.

Относительные отметки линий 2, 3, 4, 5 конечного поперечника второго участка и промежуточных поперечников на целых пикетах и плюсовых точках (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90) вычисляют по формулам (2.16)–(2.21).

2.4.2. Проектирование отгона виража внутренней проезжей части ($i_b > i_n$)

Внутренняя проезжая часть изменяет поперечный профиль при $i_b > i_n$. Так как в начале (в конце) закругления поперечный уклон внутренней проезжей части $i_n = 0,025$ в сторону центра кривой, то переход от i_n к i_b начинается на расстоянии S_1 от начала (конца) закругления. Величина S_1 определяется по формуле (2.7).

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

$$HO1 = H3 + S_1; \quad KO1 = H3 + L;$$

$$HO2 = K3 - S_1; \quad KO2 = K3 - L.$$

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

$$h_2^x = h_2^H + i_d x,$$

где h_2^H – отметка линии 2' в начале отгона виража;

i_d – дополнительный уклон линии 2';

x – расстояние от начала отгона до рассматриваемого поперечника.

Дополнительный уклон i_d внешней кромки внутренней проезжей части (линии 2', рис. 2.8) определяют по формуле (2.15).

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

$$h_2^H = 0,5i_n b; \quad h_3^H = i_n(0,5b + c_p); \quad h_5^H = -h_2^H; \quad (2.28)$$

$$h_6^H = -i_n(0,5b + a_0); \quad h_7^H = -i_n(0,5b + a_0) - 0,040(a - a_0), \quad (2.29)$$

где b – ширина внутренней проезжей части;

c_p – ширина укрепленной полосы со стороны разделительной (0,75; 0,5 м);

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

a – ширина обочины (см. табл. 1.3).

Относительные отметки линий $2'$, $3'$, $5'$, $6'$ и $7'$ конечного участка отгона выража вычисляют по формулам (2.28), (2.29), принимая вместо i_n значение i_b .

Относительные отметки линии $2'$ (см. рис. 2.8) промежуточного поперечника, расположенного на расстоянии x от начала отгона выража, вычисляются по формуле (2.17).

Далее вычисляют поперечный уклон внутренней проезжей части:

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

где b – ширина внутренней проезжей части дороги I категории.

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

$$h_{3'}^x = i_x(0,5b + c_p); \quad h_{5'}^x = -h_{2'}^x;$$

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

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

Этот раздел выполняется в соответствии с п. 2.3.3. Таблицы относительных и абсолютных отметок отгонов выража составляют отдельно для внешней и внутренней проезжей части.

2.5. Составление чертежа «Отгон выража»

В курсовом проекте чертеж «Отгон выража» составляется только для первого отгона, расположенного после начала закругления малого радиуса.

Чертеж «Отгон виража» выполняют на ватмане формата А4 × *n*. В правом нижнем углу заполняется основная надпись в соответствии с рис. 3.6. В основной надписи вместо цифры 3 записывают «Проектирование закругления малого радиуса», вместо цифры 4 – «Отгон виража при $i_b = i_n$ » или «Отгон виража при $i_b > i_n$ ».

На чертеж наносят схему размещения виража, отгона виража на закруглении малого радиуса и поперечные профили дорожного полотна в начале и в конце виража, на промежуточных поперечниках.

Схема размещения виража и отгона виража при $i_b = i_n$ составляется в соответствии с рис. 2.2, а при $i_b > i_n$ в соответствии с рис. 2.4. Приведенные на этих рисунках буквенные обозначения заменяются на цифровые в соответствии с результатами расчетов.

Поперечные профили дорожного полотна двухполосной дороги на участке отгона виража включают пикетные положения поперечника, абсолютные отметки оси проезжей части, кромок проезжей части и бровок обочин, поперечный уклон с точностью до 0,1 ‰.

Фрагменты чертежа «Отгон виража» приведены на рис. 2.9. Если $i_b = i_n$, то поперечные профили дорожного полотна включают блоки *a* и *в*. Если $i_b > i_n$, то поперечные профили дорожного полотна включают блоки *б* и *в*. Возможно уширение проезжей части в случае радиусов горизонтальных кривых 500 м и менее. На рис. 2.9 это уширение заштриховано.

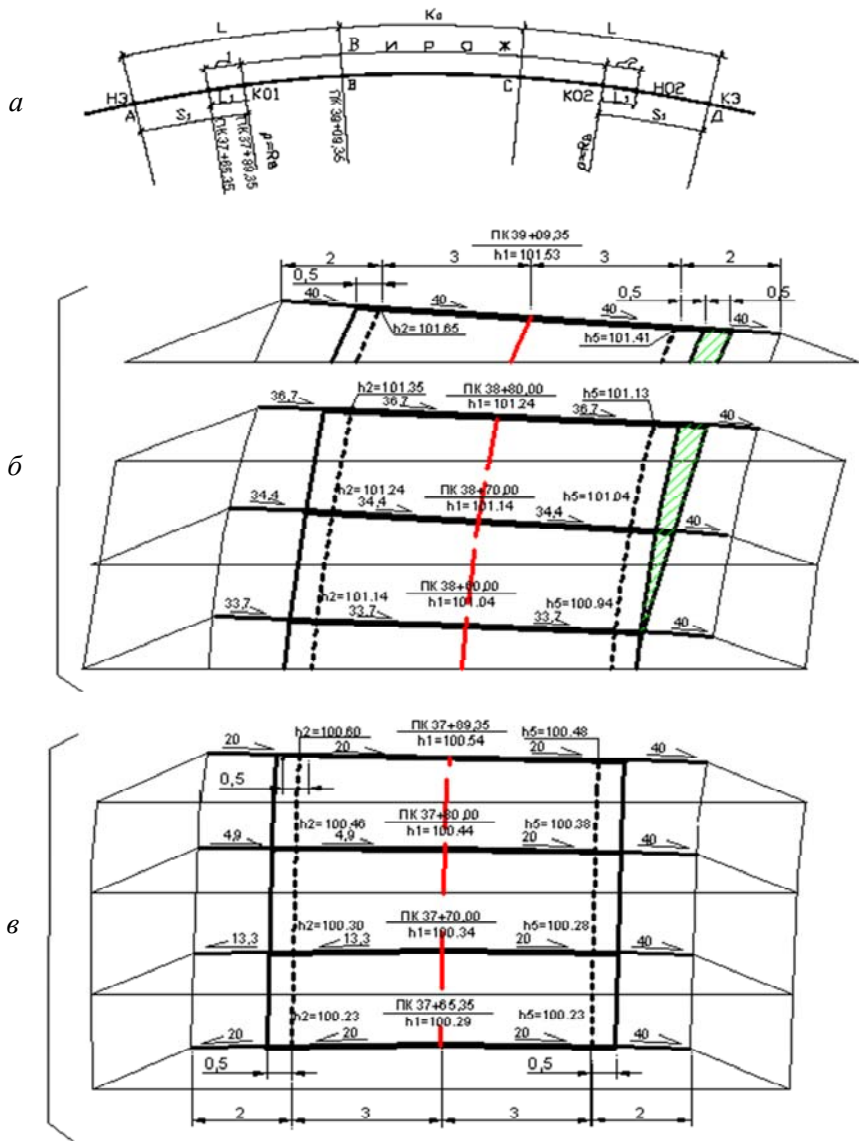


Рис. 2.9. Фрагменты оформления чертежа «Отгон виража» с уширением проезжей части за счет внутренней обочины:
a – тип отгона виража; *б* – поперечный профиль при $i_B > i_{II}$;
в – поперечный профиль при $i_B = i_{II}$

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

3.1. План автомобильной дороги

Проектирование плана автомобильной дороги включает проектирование плана трассы участка автомобильной дороги и составление чертежа «План автомобильной дороги».

3.1.1. Проектирование плана трассы автомобильной дороги

Проектирование плана трассы автомобильной дороги между заданными пунктами выполняют на топографической карте местности масштаба 1 : 25 000. С целью детальной проработки вариантов плана трассы и продольного профиля изменяют масштаб карты на 1 : 10 000. Для этого увеличивают карту местности с помощью множительной техники.

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-а категории 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 при интенсивности движения в узле более 8000 приведенных автомобилей в сутки. Пересечение дорог в одном уровне выполняется под прямым или близким к прямому углом.

Проложение вариантов плана трассы

В курсовом проекте рассматривают два варианта плана трассы (рис. 3.1). Варианты рекомендуется проектировать методом упругой линии с помощью гибкой линейки с учетом контрольных точек и препятствий, заданного направления трассы в начале и в конце ее.

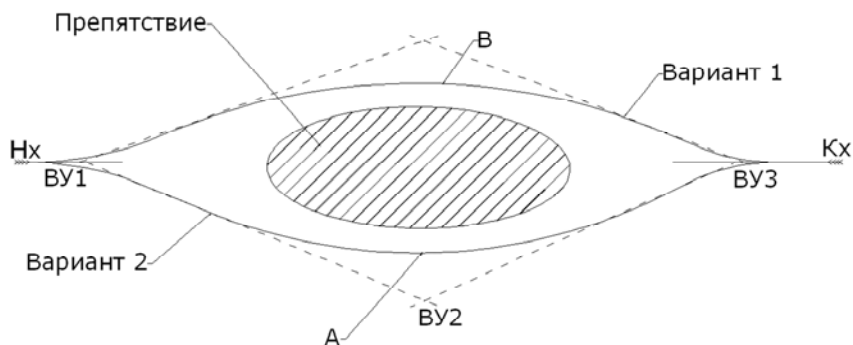


Рис. 3.1. Схема вариантов криволинейной трассы:
A и *B* – контрольные точки приближения трассы к препятствию.

Полученное криволинейное очертание плана трассы представляет собой ее примерное положение (предварительный вариант). Для обеспечения возможности выноски этой трассы на местность кривую заменяют ломаной прямой (рис. 3.2).

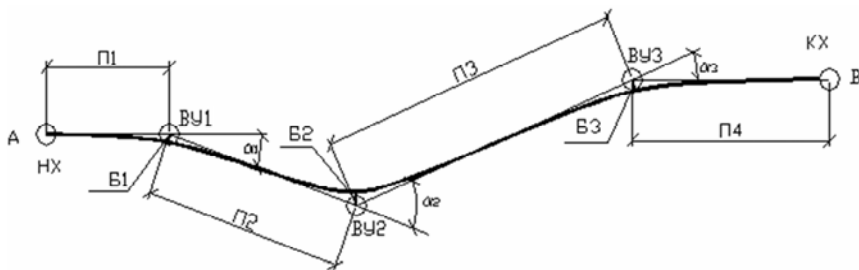


Рис. 3.2. Схема замены криволинейного плана трассы ломаным очертанием

Определение параметров ломаного плана трассы

Сначала определяют глобальные координаты начала (*Hx*) и конца (*Kx*) трассы, вершин углов поворота.

На карте местности есть километровая сетка (рис. 3.3). На горизонтальных линиях сетки указано расстояние в километрах от экватора до этой линии. На вертикальных линиях километровой сетки дано расстояние в километрах от нулевого (Гринвичского) меридиана до этой линии.

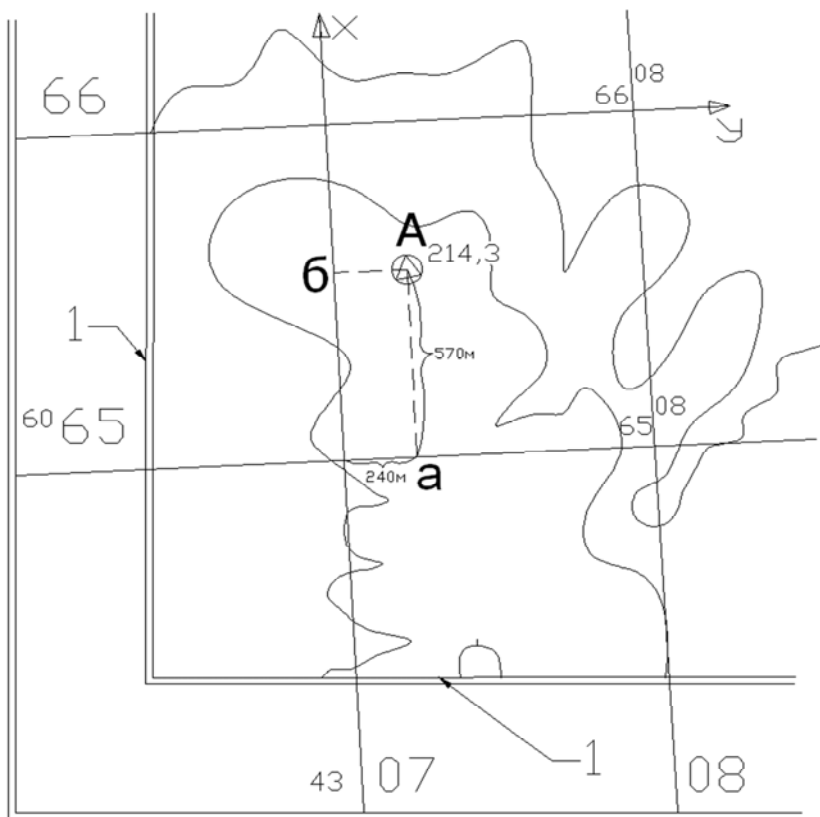


Рис. 3.3. Определение глобальных координат точек плана трассы по топографической карте:
1 – край карты

Рассмотрим последовательность определения координат точки А. Точка А находится в квадрате на пересечении километровых горизонтальных линий 6065, 6066 и вертикальных 4307 и 4308.

При определении координат точки А сначала записывают абсциссу нижней километровой линии квадрата, в котором находится точка А, то есть 6065 км. Измеряют расстояние аА и, пользуясь линейным масштабом карты, определяют, чему оно равно на местности. Полученную величину 570 м складывают с величиной абсциссы линии. $X = 6\ 065\ 000 + 570 = 6\ 065\ 570$ м.

Аналогично определяют ординату точки А. Записав значение ординаты левой стороны квадрата – 4307 км, к нему прибавляют длину линии БА на местности – 240 м. $Y = 4\,307\,000\text{ м} + 240\text{ м} = 4\,307\,240\text{ м}$. Точность измерения расстояний на карте $\pm 0,5\text{ мм}$, поэтому при масштабе карты 1 : 10 000 точность определения координат точек, биссектрис углов поворота трассы – $\pm 5\text{ м}$.

Параметрами ломаного плана трассы являются длины отрезков прямых Π_1, Π_2, Π_3 и Π_4 (см. рис. 3.2), углы поворота $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$.

Приращение координат ΔX_i и ΔY_i каждого отрезка ломаной трассы:

$$\Delta X_i = X_{i+1} - X_i; \quad \Delta Y_i = Y_{i+1} - Y_i,$$

где $X_i, X_{i+1}, Y_i, Y_{i+1}$ – координаты начала и конца отрезка ломаной трассы.

Длины отрезков ломаной трассы определяют по формуле

$$\Pi_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}.$$

Биссектрисой закругления является расстояние от вершины угла поворота до середины кривой (рис. 3.4).

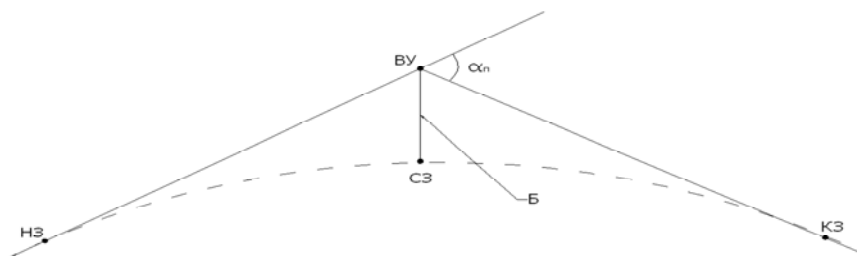


Рис. 3.4. Схема к определению биссектрисы закругления:
H3, C3 и K3 – начало, середина и конец закругления

Биссектрисы закругления на карте измеряют линейкой с точностью $\pm 0,5\text{ мм}$. При масштабе карты 1 : 10 000 точность определения биссектрис – $\pm 5\text{ м}$.

Углы поворота трассы вычисляют по данным о дирекционных углах трассы. Поэтому предварительно вычисляют дирекционные углы прямых.

Дирекционный угол ДУ – угол между вертикальной линией километровой сетки (ось X) и направлением прямой.

При вычислении дирекционного угла возможны следующие случаи:

$$\Delta X \geq 0, \Delta Y \geq 0. \text{ ДУ} = 90 - \arctg(\Delta X / \Delta Y);$$

$$\Delta X < 0, \Delta Y < 0. \text{ ДУ} = 270 - \arctg(\Delta X / \Delta Y);$$

$$\Delta X \leq 0, \Delta Y > 0. \text{ ДУ} = 90 + \arctg(|\Delta X / \Delta Y|);$$

$$\Delta X > 0, \Delta Y \leq 0. \text{ ДУ} = 270 + \arctg(|\Delta X / \Delta Y|).$$

Углы поворота трассы определяют по формуле (3.1), если $\text{ДУ}_i \leq 270$ и $\text{ДУ}_{i+1} \leq 360$ или по формуле (3.2), если $\text{ДУ}_i > 270$ и $\text{ДУ}_{i+1} < 180$:

$$\alpha_i = \text{ДУ}_{i+1} - \text{ДУ}_i; \quad (3.1)$$

$$\alpha_i = \text{ДУ}_{i+1} - \text{ДУ}_i + 360, \quad (3.2)$$

где ДУ_{i+1} , ДУ_i – дирекционные углы последующей и предыдущей прямой.

Если вычисленная по формулам (3.1) и (3.2) величина угла α_i имеет отрицательное значение, то трасса поворачивает влево и угол обозначаем $\alpha_{вл}$, если положительное, то вправо и угол обозначаем $\alpha_{пр}$.

В пояснительной записке приводят расчеты длин прямых Π_i , дирекционных углов ДУ_i , углов поворота трассы по вариантам 1 и 2. Полученные результаты расчетов записываются в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Определение элементов плана трассы

Наименование точки	Координаты точки глобальные		Приращение координат		Длина прямой Π_i , м	Дирекционный угол, °	Угол	
	X , м	Y , м	ΔX , м	ΔY , м			$\alpha_{вл}$	$\alpha_{пр}$
НХ	6 012 215	4 762 280						
ВУ1	6 012 620	4 762 600	405	320	516,16	38,4		
ВУ2	...	...				

Подбор радиусов круговых и длин переходных кривых закруглений

Радиус кривых назначают, как правило, не менее рекомендуемого (см. п. 1.3). Если его невозможно вписать, то целесообразно изменить положение вершины угла с целью снятия ограничения, вынудившего уменьшить радиус. Если такое изменение положения вершины угла невозможно, то принимают радиус менее 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 осуществить реконструкцию дороги в более высокую категорию без изменения плана.

Ориентировочные радиусы закруглений определяют по величине биссектрисы B_i и угла поворота α_i :

$$R_{Bi} = B_i / \left(\operatorname{Sec} \frac{\alpha_i}{2} - 1 \right). \quad (3.3)$$

Полученные по формуле (3.3) радиусы закруглений следует округлить с учетом точности измерения биссектрисы ± 5 м. Для этого вычисляют погрешность определения радиуса по формуле

$$\Delta R = 5 / \left(\operatorname{Sec} \frac{\alpha}{2} - 1 \right). \quad (3.4)$$

Пример 3.1. $\alpha = 40^\circ$, $B = 50$ м. По формуле (3.3) величина радиуса $R_{50} = 781,25$ м. Погрешность определения по формуле (3.4) $R_5 = 78,12$ м. Следовательно, радиус закругления может быть принят в пределах: $(781,25 - 78,12) \leq R_{50} \leq (781,25 + 78,12)$, то есть $703,13 \leq R_{50} \leq 859,37$.

Примем большее значение радиуса, округлив его до целых десятков. В нашем случае назначаем радиус $R_{50} = 850$ м. Полученный радиус горизонтальной кривой сопоставляем с минимально допустимым. Если он меньше минимального, то рассматриваем возможность изменения плана трассы на данном закруглении путем увеличения биссектрисы кривой. Назначаем новое значение биссектрисы и определяем по (3.3) с учетом (3.4) новое значение радиуса закруг-

ления. Если полученный повторно радиус меньше минимального, то следует изменить план трассы с целью уменьшения α_i , увеличения B_i и повторно вычислить R_{Bi} . На закруглениях с радиусами 2000 м и менее назначают переходные кривые в соответствии с табл. 2.1.

Вычисляют ориентировочные тангенсы круговых кривых по формуле (3.5), принимая сдвигку $p_i = 0$:

$$T_i = (R_i + p_i) \operatorname{tg} \frac{\alpha_i}{2}. \quad (3.5)$$

Принимают ориентировочное смещение начала закругления при введении переходной кривой длиной L_i , равное половине длины переходной кривой ($t_i = 0,5L$).

Проверяют достаточность длин прямых $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ (см. рис. 3.2) для размещения общих тангенсов $T_i + t_i$. Так, крайние прямые Π_1, Π_4 должны быть не меньше общего тангенса крайних закруглений, а промежуточные Π_2, Π_3 – суммы общих тангенсов соседних закруглений.

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

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

Далее при принятом значении радиуса R и длины переходной кривой при ее необходимости на каждом закруглении вычисляют все элементы закругления, в том числе смещение t , сдвигку p , домер D с точностью до 0,01 м (см. раздел 2.1). После этого вычисляют пикетное положение вершин углов поворота, конца трассы по формуле

$$ВУ1 = НХ + \Pi_1 = (0 + 00) + \Pi_1 = \Pi_1;$$

$$ВУ2 = ВУ1 + \Pi_2 - D_1;$$

$$ВУ3 = ВУ2 + \Pi_3 - D_2;$$

$$КХ = ВУ3 + \Pi_4 - D_3,$$

где $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ – длины отрезков ломаной трассы (см. табл. 3.1);
 D_1, D_2, D_3 – домеры на ВУ1, ВУ2, ВУ3.

Вычисляют пикетное положение основных точек закругления (начало, конец кривых) по формулам, приведенным в разделе 2.1, а также длины оставшихся отрезков прямых l_i . Далее составляется ведомость углов поворота, прямых и кривых. Форма такой ведомости приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Параметры ведомости углов поворота прямых и кривых

№ п/п	α		ВУ		R	T	К	Б	Д	L	t	β	P	K ₀
	лево	право	ПК	+										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Окончание табл. 3.2

НЗ		НКК (НПК)		ККК (НПК)		КЗ		Длина прямой l_i , м
ПК	+	ПК	+	ПК	+	ПК	+	
16	17	18	19	20	21	22	23	24

В первой строке в графе 1 ставят НХ (начало хода) и его пикетное положение (гр. 4, 5), в последней строке – 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, 8, 10, 11, 12, 15 и 24 получаю ΣT , ΣK , ΣD , ΣL , Σt , ΣK_0 и Σl_i .

Правильность составления ведомости прямых и кривых проверяют:
– по длине трассы

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

– домерам

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

Составление чертежа «План трассы»

Полученная путем ксерокопирования карта местности используется для составления чертежа «План трассы». Она располагается на

ватмане формата А4 × л. На карте местности уточняется положение ломаной трассы по данным ведомости углов поворота, прямых и кривых (см. табл. 3.2). На каждом закруглении приводятся основные его параметры (рис. 3.5). Для этого делают выноску угла поворота трассы в виде горизонтальной полки.

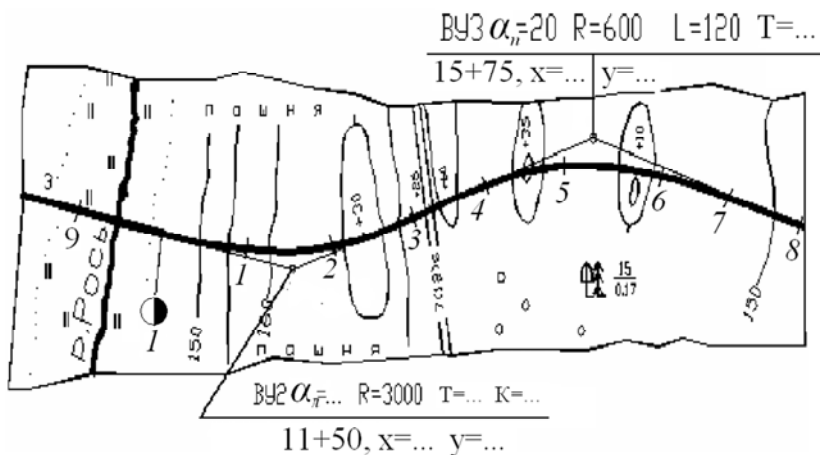


Рис. 3.5. Фрагмент оформления чертежа «План трассы»

Сверху на этой полке записывают основные параметры: номер вершины угла ($ВУ1, ВУ2$), угол поворота трассы влево ($\alpha_n = \dots$) или вправо ($\alpha_n = \dots$), радиус круговой кривой ($R = \dots$). Последующая информация зависит от наличия переходной кривой. При отсутствии переходной кривой на горизонтальной полке записывают значение тангенса ($T = \dots$), кривой ($K = \dots$) и домера ($D = \dots$). При наличии переходной кривой указывают ее длину ($L = \dots$), тангенс ($T = \dots$), смещение ($t = \dots$), оставшуюся круговую кривую ($K_0 = \dots$), домер ($D = \dots$).

Под горизонтальной полкой указывают пикетное положение вершины угла поворота и ее глобальные координаты X и Y . Начало трассы в курсовом проекте следует принять $0 + 00$, конец трассы – по расчету. Эти значения приводятся сверху.

$$\begin{array}{ll} \underline{НХ (0 + 00)}, & \underline{КХ (32 + 5)}. \\ x = \dots, y = \dots & x = \dots, y = \dots \end{array}$$

«План трассы» разбивают на пикеты (через 100 м) и плюсовые точки между соседними пикетами. Плюсовые точки назначаются в местах переломов рельефа, на пересечении дорог, водотоков, на съездах к различным объектам. Плюсовая точка обозначает расстояние от предыдущего пикета. Например, точка «+30» (см. рис. 3.5) расположена на расстоянии 30 м от предыдущего пикета 12 + 00.

На чертеже обозначают пикеты, плюсовые точки и километры. После каждого километра десятки пикетов не указываются.

На плане трассы показывают направление на север, обозначают номера вариантов. В правом нижнем углу чертежа размещается основная надпись (рис. 3.6).

		185								
		117	223	115	110	70		115	115	220
						1				
						2				
11 × 5 = 55						3				
		9	110	111	112	5	114	115	116	
		113	110	111	112	10	5	6	7	
						15	5	6	7	
							8			
5	Формат...									

Рис. 3.6. Основная надпись

В основной надписи вместо цифр следует указать:

- 1 – Курсовой проект «Основы проектирования»;
- 2 – Дисциплина «Изыскания и проектирование автомобильных дорог»;
- 3 – Проектирование участка автомобильной дороги;
- 4 – План трассы. М 1 : 10 000;
- 5 – КП (курсовой проект);

- 6 – порядковый номер чертежа;
- 7 – количество чертежей;
- 8 – БНТУ, кафедра «Проектирование дорог»;
- 9, 13 – Руководитель, исполнитель;
- 10, 11, 12, – фамилии, подписи, даты подписей;
- 14, 15, 16 – стадия, лист, листов.

3.1.2. Составление чертежа «План дороги»

Чертеж «План дороги» составляется для принятого варианта трассы. В курсовом проекте вариант трассы выбирается упрощенно по длине трассы. Если длина трассы по вариантам отличается незначительно, то учитывают рельеф местности, количество водопропускных труб и другие факторы.

Чертеж «План дороги» включает план трассы автомобильной дороги, линии бровок обочин, пересечения и примыкания, характеристику водопропускных сооружений. Он выполняется на листе ватмана формата А4 × *n* в масштабе 1 : 5000 в следующей последовательности.

На основе ведомости углов поворота, прямых и кривых вычерчивается план трассы автомобильной дороги в виде ломаной прямой, вписываются кривые.

На каждом переломе указывают параметры закругления над горизонтальной полкой, пикетное положение и глобальные координаты углов поворота – под горизонтальной полкой аналогично плану трассы.

Указывают пикетное положение и глобальные координаты начала (НК) и конца (КХ) проектируемого участка дороги аналогично плану трассы.

Параллельно плану трассы наносят бровки обочин, обозначают положение пересечений и примыканий автомобильных дорог. После проектирования продольного профиля дороги наносят положение и размер отверстия водопропускных труб из возможных типовых (1.0; 1.2; 1.4; 1.6). Указывается материал, из которого изготовлена труба. Например, надпись ГЖБ 1.0 означает следующее: труба из железобетонных звеньев, имеющая внутренний диаметр 1,0 м. Указывается пикетное положение водопропускной трубы.

На план дороги наносится ситуация вдоль трассы в полосе по 100 м в каждую сторону, используя ситуацию на топографической карте. Если на карте нет обозначений, то на плане дороги пишут слово «пашня» (рис. 3.7).

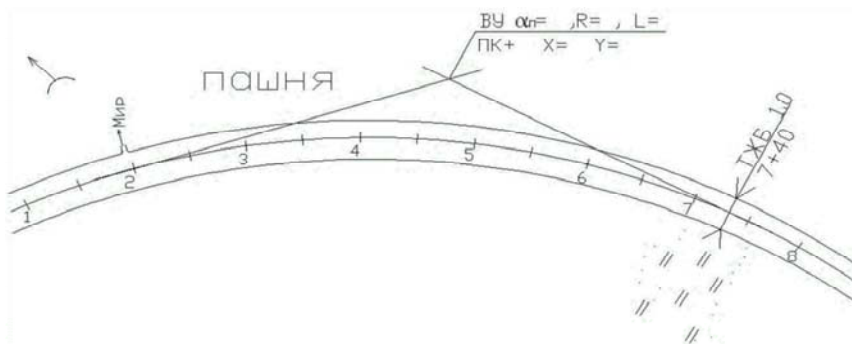


Рис. 3.7 Фрагмент чертежа «План дороги»

Основная надпись выполняется в соответствии с рис. 3.6. В позиции 4 записывают «План дороги», в позиции 5 – М 1 : 5000.

3.1.3. Определение глобальных координат основных точек закругления

Для выноски на местность ломаной трассы с помощью системы GPS ранее получены глобальные координаты начала (НХ), конца (КХ) трассы и вершин углов поворота (см. табл. 3.2). Для определения положения закругления на местности необходимы координаты начала (точка А), конца (точка Д) и середины (точка С) закругления. Для детальной разбивки закругления методом локальных прямоугольных координат (см. п. 2.1) необходимо знать глобальные координаты начала, конца кривой и вершины (точка Р₂) угла поворота (рис. 3.8). Глобальные координаты вершины угла поворота приведены в табл. 3.1.

Координаты точек А и Д получим по формулам

$$X_A = \frac{TX_1 + (\Pi_1 - T)X_2}{\Pi_1}, \quad Y_A = \frac{TY_1 + (\Pi_1 - T)Y_2}{\Pi_1}; \quad (3.6)$$

$$X_D = \frac{TX_3 + (\Pi_2 - T)X_2}{\Pi_2}, \quad Y_D = \frac{TY_3 + (\Pi_2 - T)Y_2}{\Pi_2}, \quad (3.7)$$

где T – тангенс закругления с учетом смещения t переходной кривой;

Π_1, Π_2 – длины соседних прямых ломаной трассы (см. рис. 3.2).

Для вычисления координат точки середины закругления (точка C) предварительно вычисляем координаты точки F на хорде AD и расстояние L_F от вершины угла поворота (от точки P_2) до хорды AD :

$$X_F = \frac{X_A + X_D}{2}, \quad Y_F = \frac{Y_A + Y_D}{2}, \quad L_F = \sqrt{(X_2 - X_F)^2 + (Y_2 - Y_F)^2}.$$

Координаты середины закругления:

$$X_C = \frac{BX_F + (L_F - B)X_2}{L_F}; \quad Y_C = \frac{BY_F + (L_F - B)Y_2}{L_F}. \quad (3.8)$$

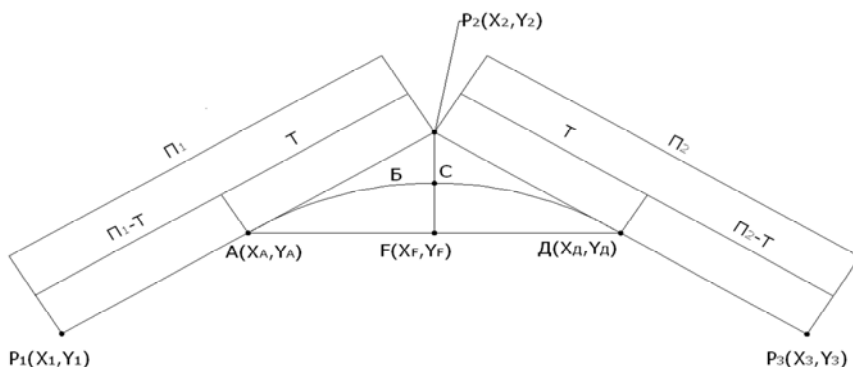


Рис. 3.8. Схема к определению глобальных координат точек A, C, D закругления плана трассы

В формулах (3.6), (3.7) для закругления с переходной кривой тангенс T принимается равным $T + t$, а в формуле (3.8) биссектриса B равна $B + p$.

В курсовом проекте приводятся исходные данные для расчета по формулам (3.6)–(3.8) в виде табл. 3.3 и результаты расчетов координат начала, середины и конца закругления в виде табл. 3.4.

Таблица 3.3

Параметры закругления

	T	t	Б	Р	Π_i
ВУ1					Π_1
ВУ2					Π_2
ВУ3					Π_3
					Π_4

Таблица 3.4

Глобальные координаты точек закругления

	Основные точки закругления					
	Начало (т. А)		Середина (т. С)		Конец (т. Д)	
	X_A	Y_A	X_C	Y_C	X_D	Y_D
ВУ1						
ВУ2						
ВУ3						

3.2. Продольный профиль автомобильной дороги

Продольный профиль автомобильной дороги составляется по выбранному варианту плана трассы автомобильной дороги. Конечной целью проектирования продольного профиля является составление чертежа «Продольный профиль дороги», схема которого представлена на рис. 3.9.

Чертеж «Продольный профиль дороги» включает черный и геологический профиль, продольный профиль трассы автомобильной дороги, таблицу исходной информации и проектных решений. В курсовом проекте эта таблица имеет форму, приведенную на рис. 3.10.

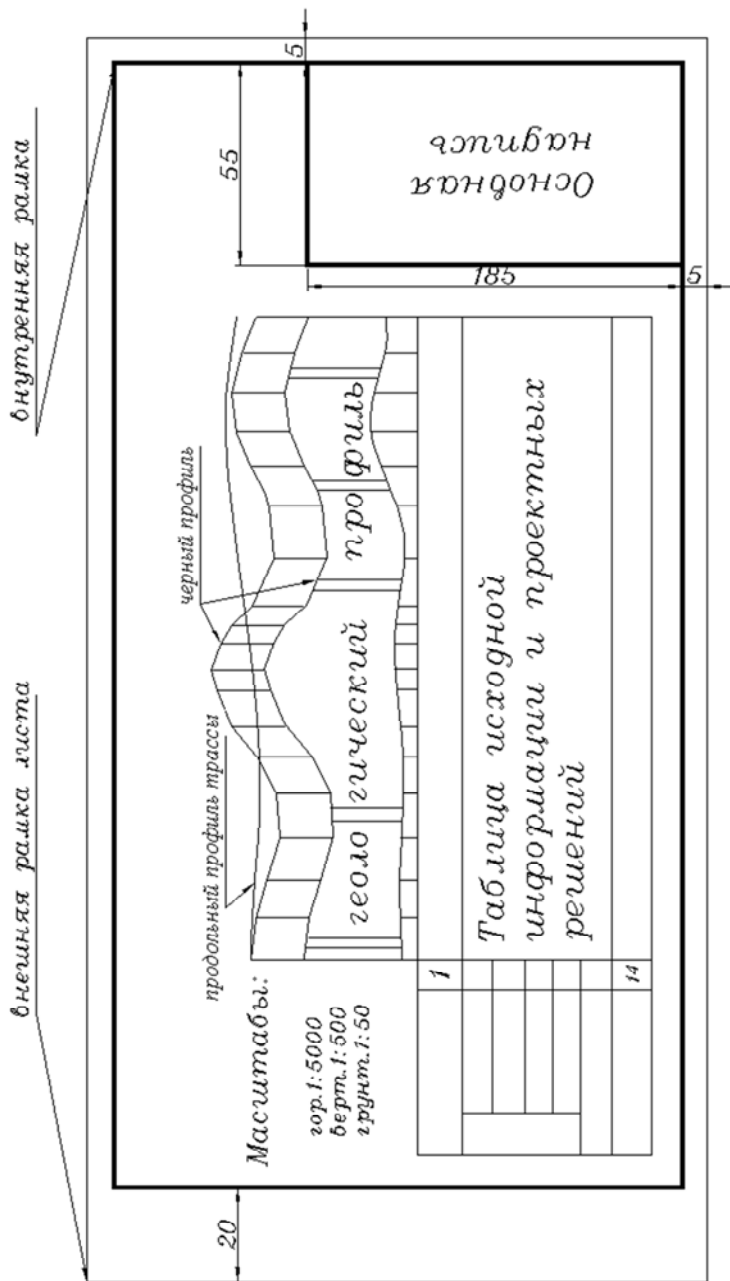


Рис. 3.9. Схема чертежа «Продольный профиль дороги»

Развернутый план дороги		1	20	125		
Тип местности по увлажнению		2	5			
Проектные данные	Тип поперечного профиля		3		5	
	Кювет	Укрепление			4	5
		Уклон, ‰			5	10
		Длина, м			6	15
		Отметка дна, м				
	Уклон и вертикальная кривая		7		10	
Отметки оси дороги		8	15			
Фактические данные	Отметки земли, м		9		15	
	Расстояние, м		10		10	
Пикеты, километры Прямая и кривая в плане		11	15			
10	10	50				
70						

Рис. 3.10. Схема таблицы исходной информации и проектных решений

Высотное положение автомобильной дороги определяет продольный профиль трассы дороги. В курсовом проекте по методическим соображениям предварительно рассчитывают продольный профиль

трассы автомобильной дороги. В последующем продольный профиль трассы включают в чертеж «Продольный профиль дороги».

Проектирование продольного профиля трассы автомобильной дороги включает:

- построение черного профиля;
- назначение контрольных и руководящих рабочих отметок;
- проектирование продольного профиля трассы дороги;
- составление чертежа «Продольный профиль трассы дороги»;
- проектирование кюветов.

3.2.1. Построение черного профиля

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 3.2. Исходные данные приведены на рис. 3.11. Необходимо определить черные отметки ПК 10 и ПК 11 + 60.

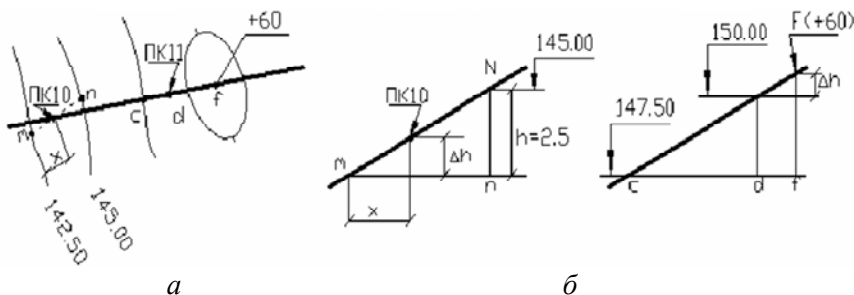


Рис. 3.11. Схема к определению отметок местности по карте

Отметку ПК 10 найдем методом интерполяции. Для этого через ПК 10 проведем линию наибольшего ската mn (рис. 3.11, а), измерим ее длину ($mn = 60$ м) и расстояние x от нижерасположенной го-

ризонтали с отметкой 142,5 м ($x = 45$ м). Из рис. 3.11, б следует, что сечение горизонтали $h = 2,5$ м:

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

Отметка ПК 10

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

Отметку ПК 11 + 60 найдем методом экстраполяции. На карте по линии наибольшего ската расстояние cd измерим между ближайшими горизонталями ($cd = 55$ м) и расстояние fd – от ПК 11 + 60 (точка F) до ближайшей горизонтали ($fd = 30$ м). Из рис. 3.11 следует, что

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

и отметка ПК 11 + 60

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

Вычисленные отметки поверхности земли по оси трассы вписывают в графу 9 (см. рис. 3.10).

Построение черного профиля для проектирования продольного профиля трассы выполняют следующим образом.

На листе миллиметровой бумаги формата $A4 \times n$ в нижней части вычерчивают графы 7, 8, 9, 10 и 11 таблицы исходной информации (см. рис. 3.10).

В графу 9 заносят отметки земли, в графу 10 – расстояния, в графу 11 записывают только пикеты и километры. По данным граф 9 и 10 выше этой таблицы вычерчивают черный профиль в масштабах: горизонтальном 1 : 5000, вертикальном 1 : 500. Рекомендуется отметки земли, кратные 5 м, располагать на горизонтальных сантиметровых линиях миллиметровой бумаги, а пикеты – на сантиметровых вертикальных линиях. Это облегчит графическое определение координат точек.

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.

3.2.2. Назначение контрольных и руководящих рабочих отметок

Контрольными точками продольного профиля являются пересечения с автомобильными дорогами, водотоками. При пересечении дорог в разных уровнях контрольная отметка продольного профиля

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ч}} + \Gamma + h_{\text{с}} + 0,2,$$

где $H_{\text{ч}}$ – отметка проезжей части по оси пересекаемой автомобильной дороги;

Γ – габарит автомобильный (5 м);

$h_{\text{с}}$ – высота пролетного строения путепровода (в курсовом проекте может быть принята 1,2 м).

При пересечении автомобильных дорог в одном уровне контрольная отметка продольного профиля равна отметке проезжей части по оси пересекаемой дороги. 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 продольный уклон дорог должен быть не более 40 ‰ на расстоянии видимости поверхности дороги в обе стороны от пересечения с второстепенной дорогой.

Водотоки бывают постоянными (реки, ручьи), на карте отмечены синей линией, и периодически действующими, на карте отмечены 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 (точ-

ка со стрелками вверх и вниз). Если же по понижению местности к дороге подходит вода, то ее пропускают под дорогой с помощью труб или мостов.

Типовые трубы бывают круглыми и прямоугольными одно-, двух- и трехчочковыми. Отверстия круглых длинномерных труб (внутренний диаметр) составляют 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, отверстия водопропускных сооружений и расчетные уровни воды в зоне сооружений назначают без расчета и вычисляют контрольные отметки $H_{пр}$ у труб и мостов.

У труб контрольная отметка равна:

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

$$H_{пр} = H_{ч} + d + t + 0,5 + h_{м} + (0,5b + c) i_{п},$$

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 $d = 0,8$ и 0,1 м – для остальных труб);

$h_{м}$ – толщина монолитных слоев дорожной одежды;

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

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

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

– 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

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

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

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

Пример 3.3. Исходные данные представлены на рис. 3.12. Требуется определить контрольные отметки у трубы на ПК 20 + 40 для дороги III категории при толщине монолитных слоев дорожной одежды 0,2 м.

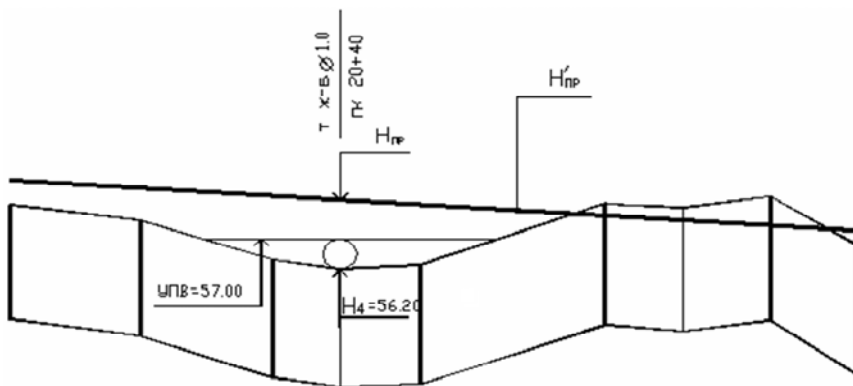


Рис. 3.12. Исходные данные к примеру 3.3

Контрольные отметки

– по засыпке над трубой

$$H_{\text{пр}} = 56,20 + 1,0 + 0,1 + 0,5 + 0,2 + (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) 0,02 = 58,18 \text{ м};$$

– возвышению бровки земляного полотна над УПВ

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

Следовательно, над трубой продольный профиль не может быть ниже отметки 58,18 м на ПК 20 + 40 и отметки 57,66 м – на участке, где устанавливается УПВ.

У мостов через несудоходные реки контрольная отметка

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

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

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

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

Руководящие рабочие отметки

Продольный профиль трассы (ось проезжей части) следует стремиться проектировать по обертывающей (в насыпях). Руководящие рабочие отметки h_p (минимальные высоты насыпи) вычисляются:

– по обеспечению снегонезаносимости дороги на открытых участках:

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

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

Δh – 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;

– обеспечению хорошего водного режима земляного полотна на участках второго и третьего типов местности по увлажнению:

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

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

где $H_{\min}^{2(3)}$ – минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли с необеспеченным стоком (H_{\min}^2) или над уровнем грунтовых вод (H_{\min}^3), принимаемое по табл. 3.5;

$H_{до}$ – толщина дорожной одежды;
 H_0 – глубина залегания грунтовых вод ($H_0 = 0$ на участках бо-
 лота).

Таблица 3.5

Минимальное возвышение низа дорожной одежды

Грунт рабочего слоя	H_{min}^2 , м	H_{min}^3 , м
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

3.2.3. Обоснование параметров продольного профиля трассы дороги

Продольный профиль трассы дороги (далее продольный профиль) состоит из прямых с уклонами i и вертикальных кривых радиусом R . Нормами ТКП [2] ограничивают максимальный продольный уклон прямых и минимальные радиусы выпуклых и вогнутых кривых (см. табл. 1.3).

Продольный профиль в зависимости от рельефа местности и категории дороги может проектироваться по обертывающей или секущей на протяжении всей дороги или на отдельных участках.

Проектирование продольного профиля по обертывающей

Проектирование продольного профиля по обертывающей выполняется в следующей последовательности.

В графу 9 таблицы исходной информации записывают отметки земли, а в графу 10 – пикеты и плюсы. По этим данным строят черный профиль в масштабах: горизонтальный – 1 : 5000, вертикальный – 1 : 500.

Над черным профилем намечают контрольные точки и положения руководящих рабочих отметок. С помощью упругой линейки или шаблонов вертикальных кривых графически намечают ориен-

тировочное положение продольного профиля трассы. Его заменяют отрезками прямых $A_0A_1-A_1A_2-A_2A_3- \dots$ (рис. 3.13).

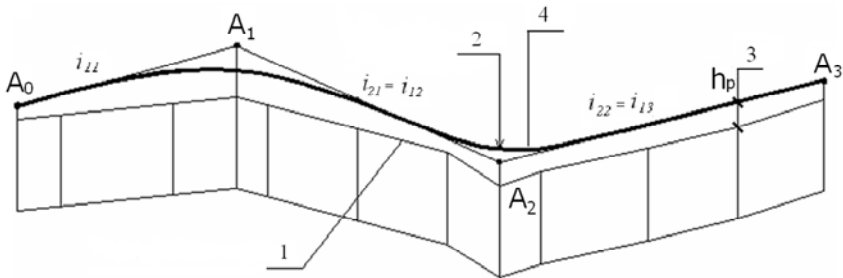


Рис. 3.13. Схема ломаного продольного профиля трассы дороги:
 1 – черный профиль; 2 – контрольная отметка по условию проектирования водопропускной трубы; 3 – руководящая рабочая отметка по снеготаносимости; 4 – продольный профиль трассы

Пикетное положение и отметки точек A_0, A_1, A_2, A_3 и т. д. ломаной линии определяют графически. Вычисляют уклоны прямых A_0A_1, A_1A_2, A_2A_3 и т. д., округляют их до целого значения промилле и корректируют отметки точек или их пикетное положение.

Пример 3.4. Точки A_0, A_1 и A_2 ломаного продольного профиля расположены на пикетах 0 + 00, 2 + 40 и 5 + 40 и имеют отметки 100,00; 102,50; 96,50. Требуется определить уклон прямых A_0A_1 и A_1A_2 (рис. 3.14).

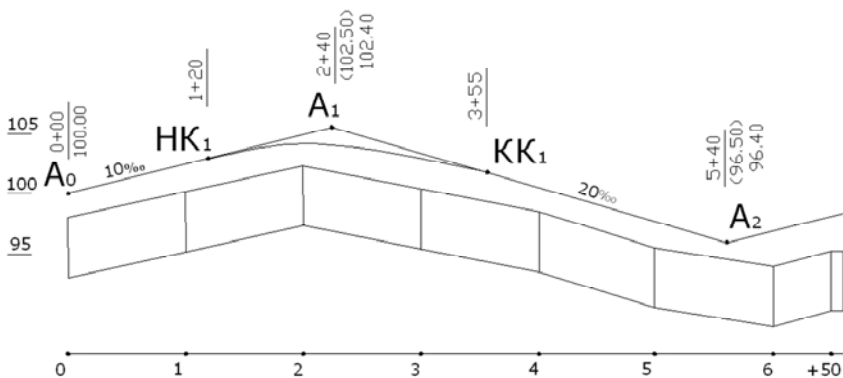


Рис. 3.14. Схема к примерам 3.4, 3.5, 3.6, 3.7

Вычисляем уклон прямой A_0A_1 как отношение превышения между точками A_1 и A_0 к расстоянию между ними:

$$i_{11} = (102,50 - 100,00)/((2 + 40) - (0 + 00)) = \\ = 2,50/240 = 0,01042 = 10,42 \text{ ‰}.$$

Принимаем $i_{11} = 10 \text{ ‰}$ и уточняем отметку $H(A_1)$:

$$H(A_1) = H(A_0) + i (\text{ПК}(A_1) - \text{ПК}(A_0)) = \\ = 100,00 + 0,010 \cdot 240 = 102,40 \text{ м}.$$

Вычисляем уклон прямой A_1A_2 :

$$i_{21} = (96,50 - 102,40)/((5 + 40) - (2 + 40)) = -0,0196.$$

Принимаем $i_{21} = -0,020 = -20 \text{ ‰}$ и вычисляем новое значение отметки точки A_2 :

$$H(A_2) = 102,40 + (-0,020) \cdot 300 = 96,40 \text{ м}.$$

Таким образом, определяют пикетное положение и отметки отрезков ломаного продольного профиля, а также продольные уклоны этих отрезков. Полученные продольные уклоны ломаной трассы не должны превышать допускаемые значения для дороги данной категории. Результаты расчетов уклонов ломаного продольного профиля трассы оформляют в виде табл. 3.6.

Таблица 3.6

Параметры ломаного продольного профиля трассы

Точки		$A_0(\text{НХ})$	A_1	A_2	A_3
Пикетные положения		0 + 00	2 + 40	5 + 40	...
Отметки точек	начальные	100,00	102,50	96,50	...
	после уточнения	100,00	102,40	96,40	...
Уклоны, ‰	начальные		10,46	-19,6	...
	после уточнения		+10	-20	...
Прямые P_i			240	300	...

Правильность составления табл. 3.6 проверяется по условию:

$$i_{11} \Sigma \Pi_i + i_n \Pi_n = H(KX) - H(NX),$$

где Π_i – длина отрезка ломаного продольного профиля ($\Pi_1 = A_1 - A_0$; $\Pi_2 = A_2 - A_1$; ... ; $\Pi_n = KX - A_n$);

$i_{1,i}$ – уклоны прямых, которые подходят к перелому A_i ;

i_n – уклон последней прямой ($\Pi_n - A_n$);

$H(KX)$, $H(NX)$ – отметки конечной и начальной точек ломаного продольного профиля трассы дороги.

После определения уклонов прямых переходят к обоснованию радиусов вертикальных кривых, начиная с перелома A_1 (см. рис. 3.14).

На каждом переломе графически намечается положение начала и конца кривой. Начало и конец кривой должны находиться на одинаковом расстоянии от перелома прямых. Определяется пикетное положение точек НК и КК. Вычисляют длины кривых:

$$K_i = ПК(КК_i) - ПК(НК_i), \quad (3.9)$$

где ПК(КК), ПК(НК) – пикетное положение конца и начала кривой.

Точность графического определения пикетного положения начала или конца кривой ± 2 мм. Точность определения длины кривой ± 4 мм, что составляет 20 м при масштабе 1 : 5000.

Величина радиуса вертикальной кривой

$$R = \frac{K_i}{\omega_i} \pm \frac{20}{\omega_i}, \quad (3.10)$$

где ω_i – перелом прямых, в долях единицы, равный алгебраической разности уклонов соседних участков ломаного продольного профиля. Например, прямые с уклонами +40 ‰ (подъем) и –10 ‰ (спуск) при пересечении образуют перелом $\omega = 0,040 - (-0,010) = 0,050$. Если вторая прямая имеет уклон +10 ‰, то перелом $\omega = 0,040 - 0,010 = 0,030$.

Величина радиуса, полученная по формуле (3.10), сопоставляется с рекомендуемым значением (см. п. 1.3). Если она меньше рекомендуемого, рассматривают вариант применения рекомендуемого. Если при этом варианте накладываются соседние кривые, то принимают меньший радиус, но не менее минимального (см. табл. 1.3) желательно для более высокой категории дороги по сравнению с проектируемой.

Пример 3.5. Исходные данные соответствуют результатам примера 3.4. Перелом A_1 ломаного продольного профиля расположен на пикете $2 + 40$. Он сопрягает линию A_0A_1 с уклоном 10% и линию A_1A_2 с уклоном 20% (см. рис. 3.14). Требуется обосновать радиус R_i выпуклой вертикальной кривой продольного профиля трассы дороги IV категории.

На ориентировочном продольном профиле трассы графически находим пикетное положение начала кривой K_1 (пикет $1 + 20$) и конца кривой (пикет $3 + 55$). Расстояние от начала кривой до точки A_1 равно $T_1 = (2 + 40) - (1 + 20) = 120$ м, от конца кривой до точки $A_1 - T_2 = (3 + 55) - (2 + 40) = 115$ м. Начало и конец кривой находятся приблизительно на одинаковом расстоянии от перелома A_i . Примем длину кривой $K_1 = 120 + 115 = 235$ м. Перелом $\omega_i = 0,010 - (-0,02) = 0,030$.

Вычислим по формуле (3.10) радиус R_1 выпуклой кривой

$$R_1 = 235/0,030 \pm 20/0,030 = 7833 \pm 666 \text{ м.}$$

Примем погрешность определения радиуса выпуклой кривой со знаком «+», $R_1 = 78833 + 666 = 8499$ м. Рекомендуемый радиус выпуклой кривой – $25\ 000$ м. Минимальный радиус выпуклой кривой для дороги IV категории – 4000 м, для дороги III категории – 8000 м. Если принять рекомендуемый радиус $25\ 000$ м, то длина кривой $K = 25\ 000 \times 0,030 = 750$ м. Тангенс $T = 750/2 = 375$ м. Начало кривой находится вне трассы дороги. Примем для дальнейшего проектирования $R_1 = 8000$ м.

После обоснования радиуса R_i вычисляют длину кривой K_i и тангенс T_i по формулам (3.11) и пикетное положение начала и конца кривой по формуле (3.12):

$$K_i = R_i \omega, \quad T_i = 0,5K_i. \quad (3.11)$$

$$\text{ПК}(\text{НК}_i) = \text{ПК}(A_i) - T; \quad \text{ПК}(\text{КК}_i) = \text{ПК}(A_i) + T. \quad (3.12)$$

Пример 3.6. Исходные данные примера 3.5. Требуется определить пикетное положение начала и конца кривой. Для радиуса $R_1 = 8000$ м по (3.11) вычисляют длину кривой $K_1 = 8000 \cdot 0,030 = 240$ м и тангенс $T_1 = 240/2 = 120$ м.

Начало кривой K_1 расположено на пикете

$$\text{ПК}(\text{НК}_1) = (2 + 40) - 120 = 1 + 20.$$

Конец кривой на пикете

$$\text{ПК}(\text{КК}_1) = (2 + 40) + 120 = 3 + 60.$$

Далее вычисляют длину первого прямого участка продольного профиля трассы дороги от начала хода ($0 + 00$) до начала кривой K_1

$$l_1 = \text{ПК}(\text{НК}_1) - (0 + 00). \quad (3.13)$$

Необходимо выполнить условие $l_1 \geq 0$. Если $l_1 < 0$, следует уменьшить радиус R_1 при условии, что он больше минимального значения для дорог данной категории, или изменить положение перелома A_1 .

Далее переходят к следующим переломам A_2 , A_3 и т. д. Графически определяют пикетное положение начала и конца кривой K_i , ее длину K_i по формуле (3.9), радиус кривой R_i по (3.10) с учетом рекомендуемого и минимального значения для дороги данной категории.

Для принятого радиуса кривой R_i вычисляют новое значение длины кривой K_i и тангенса T_i по формуле (3.11), а также пикетное положение начала и конца кривой по формулам (3.12).

Вычисляют длину прямой l_i между соседними кривыми и длину прямой $l_{\text{п}}$ от конца последней кривой до конца трассы

$$l_i = \text{ПК}(\text{НК}_i) - \text{ПК}(\text{КК}_{i-1}), \quad l_{\text{п}} = \text{ПК}(\text{КХ}) - \text{ПК}(\text{КК}_{\text{п}}), \quad (3.14)$$

где $\text{ПК}(\text{НК}_i)$, $\text{ПК}(\text{КК}_{i-1})$ – пикетное положение начала последующей кривой и конца предыдущей;

$\text{ПК}(\text{КХ})$, $\text{ПК}(\text{КК}_{\text{п}})$ – пикетное положение конца хода и конца последней вертикальной кривой.

Если $l_i < 0$, имеет место наложение соседних кривых, что недопустимо. Необходимо уменьшить длину вертикальной кривой путем уменьшения радиуса кривой, имеющего величину больше минимального значения. Если на соседних закруглениях приняты ми-

нимальные радиусы, необходимо перепроектировать ломаный продольный профиль на этом участке.

Если $l_n < 0$, необходимо уменьшить длину последней кривой путем уменьшения радиуса кривой, если он больше минимального, или изменить положение A_n последнего перелома путем изменения ломаного продольного профиля.

Составляют ведомость кривых и прямых продольного профиля трассы дороги по форме, приведенной в табл. 3.7. Радиусы выпуклых кривых записываются со знаком «+», а вогнутых кривых – со знаком «-». Величины l_i , l_i и l_n вычисляют по формулам (3.13) и (3.14).

Таблица 3.7

Расчет элементов продольного профиля

A_i	ПК(A_i)	$\pm R_i$	ω_i	K_i	T_i	ПК(НК $_i$)	ПК(КК $_i$)	l_i
НХ	0 + 00							120
1	2 + 40	+8000	0,030	240	120	1 + 20	3 + 60	
2	6 + 60	-10 000	0,030	300	150	3 + 90	6 + 90	30
...	
КХ	...							l_n
				ΣK_i	ΣT_i			Σl

Проверяют правильность расчетов длин кривых и прямых

$$\Sigma l_i + \Sigma K_i = \text{ПК(КХ)} - \text{ПК(НХ)}, \quad \Sigma K_i = 2\Sigma T_i. \quad (3.15)$$

Если условие (3.15) выполнено, переходят к расчету отметок продольного профиля трассы и окончанию составления чертежа «Продольный профиль трассы»

Проектирование продольного профиля по секущей

Если рельеф местности пересеченный, уклоны черного профиля превышают максимально допустимые для дороги данной категории, если имеет место частое чередование выпуклых и вогнутых элементов черного профиля, то для обеспечения требований норм продольного профиля проектирование продольного профиля выполня-

ют по методу секущей с учетом контрольных и ограничивающих точек. Дорога проходит в чередующихся насыпях и выемках. При проложении ломаного продольного профиля (рис. 3.15, линия 2) надо назначать продольный уклон, равный рекомендуемому, но не более максимального значения для дороги заданной категории.

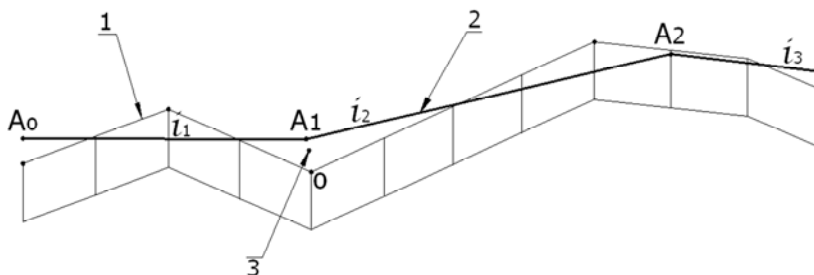


Рис. 3.15. Фрагмент продольного профиля трассы дороги «по секущей»:
1 – черный профиль; 2 – продольный профиль трассы;
3 – контрольная точка у трубы

Продольный профиль трассы должен проходить через контрольные точки. В случае ограничивающих точек (рис. 3.14, точка 3) ось дороги должна проходить не ниже таких точек.

Уклоны прямых A_0A_1 , A_1A_2 могут назначаться по нормам или вычисляться по графическим отметкам точек A_0 , A_1 , A_2 . Радиусы вертикальных кривых назначаются по нормам для данной или более высокой категории дороги, чем проектируемая. Длины вертикальных кривых, пикетное положение вычисляют по формулам (3.11) и (3.12). Определяют участки прямых l_1 , l_i , l_n по формулам (3.13) и (3.14). Проверяют условия $l_1 \geq 0$, $l_i \geq 0$, $l_n \geq 0$. Если одно из этих условий не выполнено, то корректируют параметры продольного профиля трассы дороги. Расчеты длин прямых и кривых приводят в табличной форме (см. табл. 3.7) и проверяют условия (3.15).

Определение отметок продольного профиля трассы дороги

Продольный профиль состоит из вертикальных кривых и прямых. На вертикальных кривых вычисляют только отметки начала $H(НК_i)$ и конца $H(КК_i)$ кривых K_i по формуле (3.16). Для проверки

вычислений отметку конца кривой вычисляют дополнительно по формуле (3.17).

$$H(\text{НК}_i) = H(A_i) - (\pm i_{1,i} T_i), \quad H(\text{КК}_i) = H(A_i) + (\pm i_{2,i} T_i); \quad (3.16)$$

$$H(\text{КК}_i) = H(\text{НК}_i) + \Delta H(K_i), \quad \Delta H(K_i) = T_i(i_{1,i} + i_{2,i}), \quad (3.17)$$

где $H(A_i)$ – отметка i -го перелома после уточнения (табл. 3.6);

$\pm i_{1,i}$ – уклон прямой на подходе к перелому A_i , в долях единицы;

$\pm i_{2,i}$ – уклон прямой после перелома A_i , доли единицы;

T_i – тангенс, равный половине кривой K_i (см. табл. 3.7);

$\Delta H(K_i)$ – разность отметок конца и начала кривой.

В формулах (3.16) и (3.17) знак уклона «+» на подъеме и «-» – на спуске.

На прямых участках, расположенных между соседними кривыми, отметки начала и конца соответствуют отметкам конца предыдущей и начала последующей кривой.

Пример 3.7. На переломе A_1 (см. табл. 3.6) выпуклая вертикальная кривая ($R_1 = 8000$ м) сопрягает прямые с уклонами $i_1 = +10\%$ и $i_2 = -20\%$. Отметка перелома 102,4 м. Требуется вычислить отметки начала и конца кривой. Тангенс кривой $T_1 = 120$ м.

Отметка начала кривой по (3.16) $H(\text{НК}_1) = 102,4 - (+0,10)120 = 101,20$ м. Отметка конца кривой по (3.17) $H(\text{КК}_1) = 102,4 + (-0,20)120 = 100,00$ м. Отметка конца кривой по (3.17) $H(\text{КК}_1) = 101,20 + (0,10 + (-0,20))120 = 101,20 - 1,20 = 100,00$ м.

Результаты вычисления отметок начала и конца кривых оформляют в виде табл. 3.8.

Таблица 3.8

Составление ведомости продольного профиля трассы

A_i	ПК(A_i)	$H(A_i)$	i_i	$i_{(i+1)}$	T_i	$\Delta H(K_i)$	$H(\text{НК}_i)$	$H(\text{КК}_i)$	l_i	$l_i i_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A_1	2+40	102,4	+0,01	-0,02	120	-1,20	101,2	100,0	120	+1,20
A_2	5+40	96,40	-0,02	+0,10	150	-1,50	99,4	97,9	30	-0,60
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	$\sum l_i i_i$
КХ						$\Sigma \Delta H(K_i)$			L_n	$L_n i_n$

При составлении табл. 3.8 разность отметок конца и начала вертикальной кривой (см. графу 7) вычисляется по формуле (3.17). В графе 10 длины прямых участков продольного профиля принимаются по табл. 3.7. Правильность составления табл. 3.8 проверяют по условию:

$$\Sigma \Delta H(K_i) + \Sigma l_i i_i + l_{\text{п}} i_{\text{п}} = H(KX) - H(HX),$$

где $H(KX)$, $H(HX)$ – отметки конца и начала продольного профиля трассы.

3.2.4. Составление чертежа «Продольный профиль трассы»

Таблица исходной информации и проектных решений (см. рис. 3.10) на чертеже «Продольный профиль трассы» включает строки 7, 8, 9, 10 и частично 11. В строках 7, 8, 9, 10 записывают их наименования в соответствии с рис. 3.10, а в строке 11 – «пикеты, километры».

По данным строк 9 и 10 вычерчивают черный профиль. В случае проектирования продольного профиля «по обертывающей» над черным профилем показывают эскизный криволинейный продольный и ломаный продольный профиль (рис. 3.16). В случае проектирования продольного профиля «по секущей» наносят ломаный продольный профиль трассы (см. рис. 3.15).

Ломаный продольный профиль фиксируют точками A_0 , A_1 , A_2 и т. д. Над каждой точкой по данным табл. 3.6 показывают ее пикетное положение и отметки: начальную (в скобках) и после уточнения.

На наклонной полке записывают величину продольного уклона i в промилле (числитель) и длину отрезка ломаной трассы в метрах. Обозначение уклона не указывают.

В случае проектирования продольного профиля «по обертывающей» на его криволинейной части показывают ориентировочное положение начала кривой НК, конца кривой КК и их графическое пикетное положение.

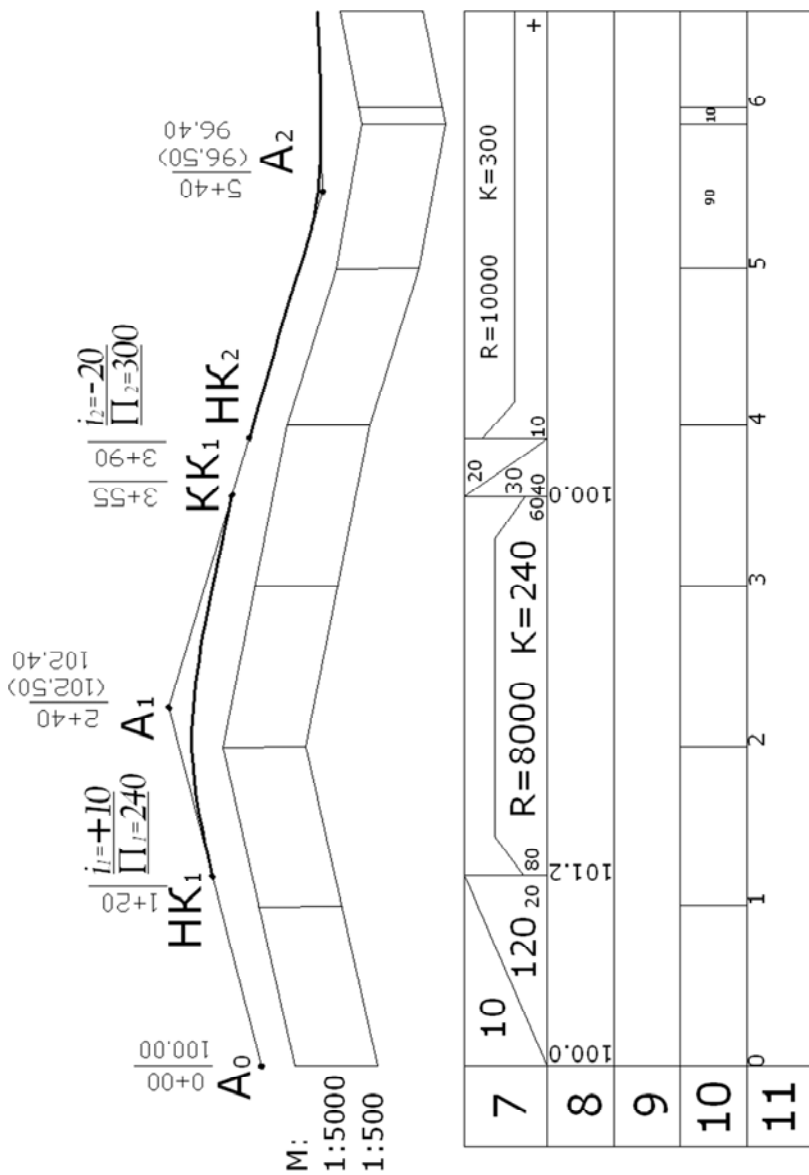


Рис. 3.16. Фрагмент чертежа «Продольный профиль трассы»

Далее заполняют графы 7 и 8 таблицы исходной информации и проектных решений.

В графе 7 (см. рис. 3.16) по данным табл. 3.7 обозначают положение начала и конца кривых относительно соседних пикетов. Например, кривая K_1 , сопрягающая перелом в точке A_1 , начинается на пикете $1 + 20$ и заканчивается на пикете $3 + 60$. Начало кривой находится на расстоянии 20 м от пикета 1 и 80 м от пикета 2. Аналогично конец закругления расположен на расстоянии 60 м от пикета 3 и 40 м от пикета 4. В графе 7 наносят две вертикальные линии по границам кривой и указывают расстояние от начала и конца кривых до соседних пикетов. В графе 8 по данным табл. 3.8 записывают отметки продольного профиля в начале и в конце кривых (прямых).

По данным табл. 3.7 в графе 7 указывают радиус R_i и длину K_i кривой под обозначением выпуклой и над обозначением вогнутой кривой в соответствии с рис. 3.17.

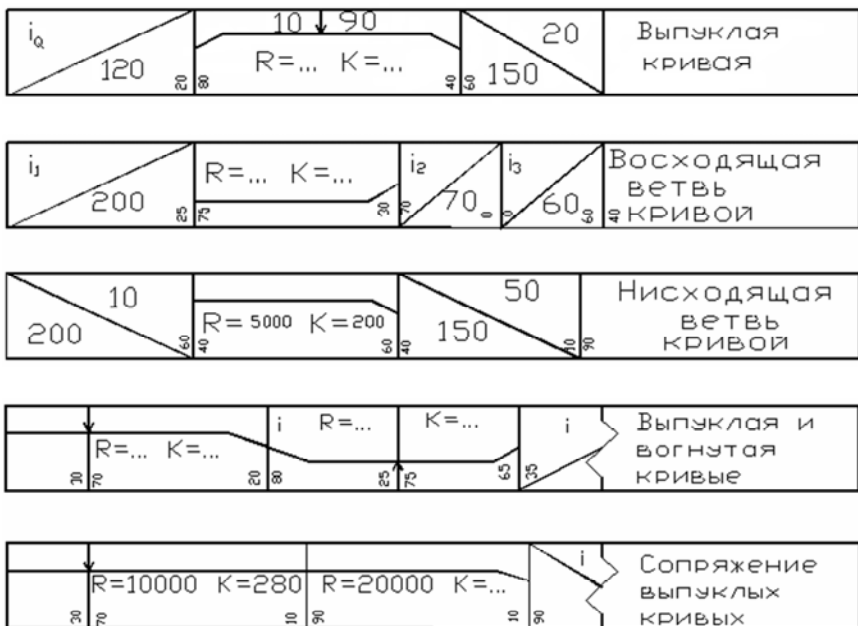


Рис. 3.17. Обозначение вертикальных кривых и прямых

На прямых участках продольного профиля по данным табл. 3.7 в графе 7 (см. рис. 3.16) обозначают их протяжение и продольный уклон в ‰. Обозначение ‰ не указывают. Знак продольного уклона соответствует наклону прямой. На прямых участках продольного профиля, расположенных между соседними кривыми, отметка начала отрезка прямой равна отметке конца кривой.

Чертеж «Продольный профиль трассы» составляется на листе миллиметровой бумаги формата $A4 \times n$. В основной надписи вместо «План трассы» в графу 4 записывают «Продольный профиль трассы».

3.2.5. Составление чертежа «Продольный профиль дороги»

Схема чертежа «Продольный профиль дороги» приведена на рис. 3.9. Повторно вычерчивается черный профиль следующим образом: из графы 9 таблицы исходной информации выбирают наименьшую отметку земли и наносят ее на чертеж так, чтобы от нее до верха графы 1 оставалось не менее 7 см для размещения геологического профиля, а сантиметровая линия миллиметровой бумаги соответствовала отметке, кратной 5 м (например 145,0; 150,0). В обе стороны от этой точки наносят отметки остальных точек в масштабах: горизонтальном – 1 : 5000; вертикальном – 1 : 500. Расстояние от наивысшей точки черного профиля до верхней линии рамки профиля должно быть не менее 3 см для размещения необходимых надписей. Если последнее условие не выполнено, то черный профиль смещают по вертикали (рис. 3.18).

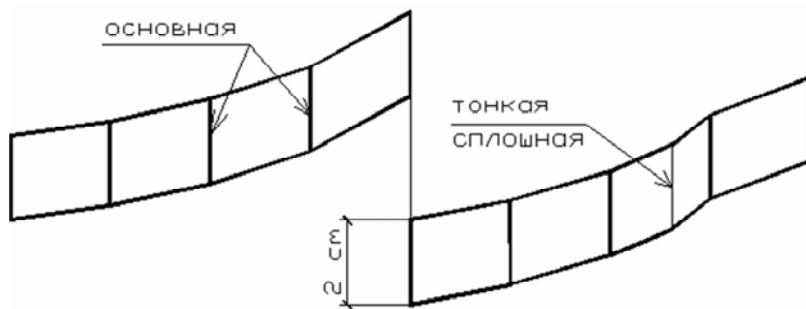


Рис. 3.18. Пример нанесения черного профиля со смещением по высоте

После черного профиля наносят положение продольного профиля трассы (см. рис. 3.9). Для этого используют данные графы 7 и 8 (рис. 3.16). Продольный профиль трассы на чертеже включает кривые и прямые, оставшиеся после вписывания кривых. Ломаный продольный профиль (переломы $A_0, A_1, A_2 \dots$, их пикетное положение и отметки, уклоны и длины прямых), а также пикетное положение начала и конца вертикальных кривых, полученных графически (см. рис. 3.16), на чертеже не показывают.

В графах 7 и 8 чертежа указывают положение и отметки начала и конца кривых и прямых, радиусы и длины кривых, уклоны и длины прямых, пользуясь данными графы 7 и 8 чертежа «Продольный профиль трассы». В графу 8 также записывают отметки промежуточных точек продольного профиля кривых. Методика определения отметок промежуточных точек вертикальных кривых рассмотрена ниже.

Вычисляют рабочие отметки h как разность отметок продольного и черного профиля. Если $h > 0$, то дорога проходит в насыпи и рабочие отметки записывают над продольным профилем. Если $h < 0$, то дорога проходит в выемке и рабочие отметки записывают под продольным профилем. Знак « \leftarrow » не указывают.

Вычисляют положение точки перехода из насыпи в выемку, в которой рабочая отметка $h = 0$, и обозначают ее пунктирной линией (рис. 3.27):

$$X_0 = \frac{lh_n}{(h_n + h_b)},$$

где h_n, h_b – высота насыпи и глубина выемки;

l – расстояние между точками продольного профиля, имеющими рабочие отметки h_n и h_b .

На черном профиле показывают водопропускные трубы, обозначают их отверстие, материал и пикетное положение. Над продольным профилем трассы размещают информацию об инженерных объектах, пересекаемых дорогой (дороги, линии электропередач и др.).

Далее заполняют отдельные позиции таблицы исходной информации и проектных решений (см. рис. 3.10).

На основе чертежа «План дороги» и данных топографической карты в графе 1 обозначают ситуацию по 100 м в каждую сторону от оси дороги, положение угла поворота и направление трассы (рис. 3.19). В графе 11 обозначают пикеты, километры, показывают прямые и кривые участки плана трассы (рис. 3.20). Следует согласовывать направление трассы после угла поворота в графах 1 и 11. Так, на ВУ3 трасса поворачивает направо, а на ВУ4 – налево.

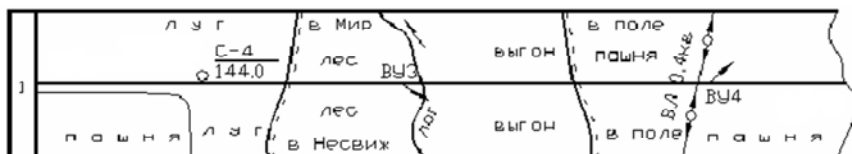


Рис. 3.19. Пример заполнения графы 1

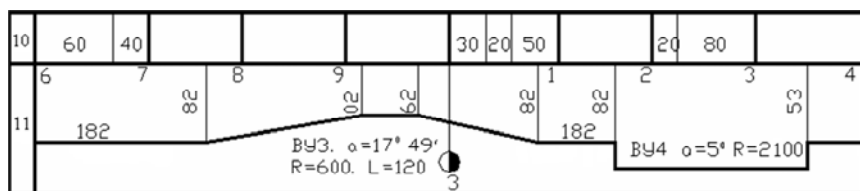


Рис. 3.20. Пример заполнения граф 10, 11

В графе 10 обозначают расстояние между плюсовыми точками. Расстояние между пикетами равно 100 м. В графе 10 оно не указывается. В графе 2 указывают тип местности по увлажнению цифрами 1, 2 или 3 (см. «Введение»). Графы 4, 5, 6 заполняются после проектирования кюветов, графа 3 – после проектирования поперечных профилей земляного полотна.

В курсовом проекте на продольном профиле трубы, мосты и теплотрассы по месту их расположения, пересечения с имеющимися железными и автомобильными дорогами, линиями связи и электропередач, водоотводные и нагорные каналы показывают в соответствии с условными обозначениями этих сооружений. Расчетные уровни высокой воды у мостов (РУВВ) и УПВ у труб принимаются те же, что и при расчете контрольных отметок. Основную надпись (угловой штамп) располагают в правом нижнем углу.

Расположение и размеры граф основной надписи приведены на рис. 3.6. В основной надписи в графе 4 следует записать «Продольный профиль дороги». Остальные графы аналогичны чертежу «План трассы».

Определение отметок промежуточных точек вертикальных кривых

При вычислении отметок промежуточных точек кривых возможны два случая.

Случай 1. На переломе A_i уклоны i_i и $i_{(i+1)}$ меняют знак. На вертикальной кривой K_i имеется вершина. При этом если $i_i \geq 0$ и $i_{(i+1)} \leq 0$, то кривая выпуклая, если $i_i \leq 0$ и $i_{(i+1)} \geq 0$, то кривая вогнутая. Отметка вершины выпуклой кривой максимальная, а вогнутой – минимальная.

Исходные данные для определения отметок промежуточных точек: пикетное положение, отметки начала и конца кривых, уклоны i_1 и i_2 прямых, касательных к началу и концу вертикальных кривых.

Вначале вычисляют пикетное положение вершины кривой (т. В):

$$\text{ПК}(В) = \text{ПК}(\text{НК}_i) + l_1, \quad \text{ПК}(В) = \text{ПК}(\text{КК}_i) - l_2,$$

где l_1, l_2 – расстояние от начала или конца кривой до вершины

$$l_1 = i_1 R_i, \quad l_2 = i_2 R_i,$$

где i_1, i_2 – уклоны прямых, касательных к началу и концу вертикальной кривой радиуса R .

Отметка вершины кривой вычисляется по формуле:

$$H(В) = H(\text{НК}_i) \pm \frac{l_1^2}{2R} \quad \text{или} \quad H(В) = H(\text{КК}_i) \pm \frac{l_2^2}{2R}. \quad (3.18)$$

В формулах (3.18) знак «+» – в случае выпуклой кривой и «-» – в случае вогнутой.

Промежуточная точка С (рис. 3.21) расположена на пикете $\text{ПК}(С)$ на расстоянии $l_C = \text{ПК}(В) - \text{ПК}(С)$ от вершины В.

Отметка точки С:

$$H(C) = H(B) \pm \frac{l_c^2}{2R}. \quad (3.19)$$

В формуле (3.19) знак «−» – в случае выпуклой кривой, знак «+» – в случае вогнутой кривой.

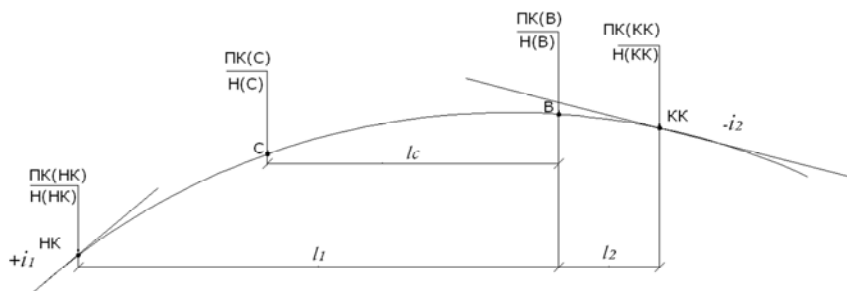


Рис. 3.21. Схема к определению положения вершины кривой (т. В) и отметки промежуточной точки С на выпуклой кривой

Пример 3.8. Кривая радиуса 8000 м (см. рис. 3.16) сопрягает прямые с уклонами $i_1 = 10\%$ и $i_2 = -20\%$. Начало кривой расположено на пикете 1 + 20 с отметкой 101,20 м. Конец кривой расположен на пикете 3 + 60 с отметкой 100,00 м. Требуется вычислить промежуточные отметки на пикетах 3 + 00.

Так как $i > 0$, $i_2 < 0$, то вертикальная кривая выпуклая. Ее вершина расположена на расстоянии $l_1 = i_1 R = 0,010 \cdot 8000 = 80$ м от начала кривой на пикете

$$\text{ПК}(В) = \text{ПК}(\text{НК}) + l_1 = (1 + 20) + 80 = 2 + 00.$$

Отметка вершины выпуклой кривой

$$\begin{aligned} H(В) &= H(\text{НК}) + l_1^2 / (2R) = 101,20 + 80^2 / 2 \cdot 8000 = \\ &= 101,20 + 0,4 = 101,60 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расстояние от пикета 3 + 00 до вершины кривой

$$l_c = (3 + 00) - (2 + 00) = 100 \text{ м.}$$

Отметка пикета 3 + 00 на выпуклой кривой

$$H(3) = 101,60 - 100^2 / (2 \cdot 8000) = 100,98 \text{ м.}$$

Случай 2. Уклоны прямых, которые подходят к перелому A_i , не меняют знак. Вершина кривой находится за пределами кривой K_i . При этом если $i_i \geq i_{(i+1)}$, то кривая выпуклая, если $i_i < i_{(i+1)}$, то кривая вогнутая.

Вершина кривой расположена за пределами проектируемого участка кривой.

Исходные данные: пикетное положение и отметки начала и конца вертикальной кривой. Промежуточная точка С расположена на пикете ПК(С). Расстояние от начала и конца кривой до точки С (рис 3.22)

$$l_{C1} = \text{ПК}(С) - \text{ПК}(\text{НК}_i), \quad l_{C2} = \text{ПК}(\text{КК}_i) - \text{ПК}(С).$$

Отметка точки С на кривой

$$H_C = H(\text{НК}) + i_1 l_{C1} \pm \frac{l_{C1}^2}{2R} \quad \text{или} \quad H_C = H(\text{КК}) - i_2 l_{C2} \pm \frac{l_{C2}^2}{2R}. \quad (3.20)$$

В формулах (3.20) знак «-» – на выпуклых кривых и знак «+» – на вогнутых, уклоны i_1 и i_2 имеют на спуске знак «-», на подъеме – «+».

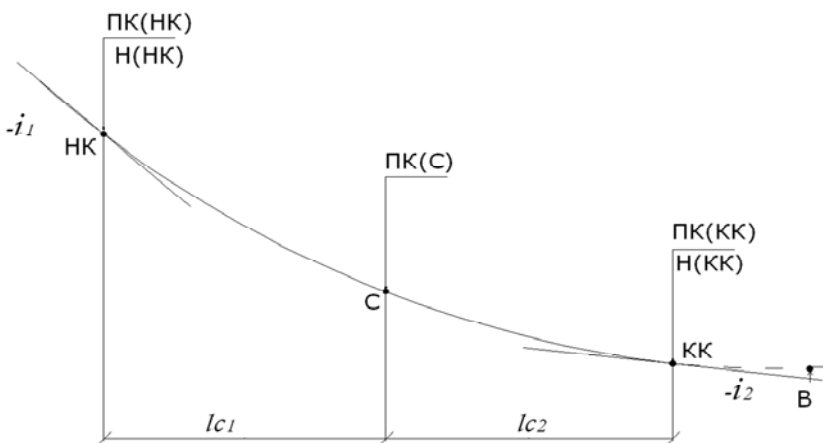


Рис. 3.22. Схема к определению отметки точки на вогнутой кривой

Пример 3.9. Кривая радиуса 10 000 м сопрягает прямые с уклонами $i_1 = +10\%$ и $i_2 = +50\%$. Начало кривой расположено на пикете 7 + 00. Отметка начала кривой 147,50 м. Требуется определить отметку пикетов 8 + 00 и 9 + 00.

Так как уклоны $i_1 > 0$ и $i_2 > 0$ не меняют знак, вершина кривой расположена вне кривой (случай 2). Уклон $i_2 > i_1$, и они на подъеме – кривая вогнутая.

Вычислим расстояние от начала кривой ПК 7 + 00 до пикетов 8 + 00 и 9 + 00, $l_8 = 100$ м и $l_9 = 200$ м. Отметки этих пикетов вычислим по формуле (3.20)

$$H_8 = 147,5 + 0,010 \cdot 100 + (100^2/2 \cdot 10000) = 149,0 \text{ м.}$$

В пояснительной записке приводят данные о расчетах отметок на вертикальных кривых по каждому перелому

$$H_9 = 147,5 + 0,010 \cdot 200 + (200^2/2 \cdot 10000) = 151,5 \text{ м.}$$

3.2.6. 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 ‰.

Проектирование кюветов включает:

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

При проектировании продольного профиля дна кювета возможны два случая:

1. Уклон продольного профиля на участке дороги, где необходим кювет, не менее 5 ‰. Дно кювета параллельно оси дороги.
2. Уклон продольного профиля менее 5 ‰. Дно кювета проектируют с уклоном 5 ‰.

Случай 1. Дно кювета располагают параллельно продольному профилю ниже бровки обочины на глубину кювета h_k . В этом случае графу 6 (см. табл. 3.6) не заполняют, а в графе 5 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. Предварительно вычисляют высоту насыпи, при которой начинается (заканчивается) кювет:

$$h_{нк} = h_k + \Delta Y, \quad (3.21)$$

где h_k – принятая глубина кювета;

ΔY – разность отметок оси дороги и бровки обочины:

$$\Delta Y = i_n(0,5b + c) + i_o(a - c); \quad (3.22)$$

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

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

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

Для случая, когда дно кювета параллельно продольному профилю, сравнивают рабочие отметки ближайших к выемке насыпей с величиной $h_{нк}$. Если $h_n(i) > h_{нк}$ (рис. 3.23, а), расстояние от поперечника с рабочей отметкой $h_n(i)$ до начала кювета

$$X_k = l \frac{h_n(i) - h_{нк}}{h_n(i) + h_b(i+1)}, \quad (3.23)$$

где $h_n(i)$ – рабочая отметка насыпи на поперечнике i ;

$h_b(i+1)$ – рабочая отметка выемки на поперечнике $i+1$.

Если $h_n(i) < h_{нк}$ и $h_n(i-1) > h_{нк}$, начало кювета будет располагаться между поперечниками насыпей с рабочими отметками $h_n(i)$ и $h_n(i-1)$ (рис. 3.22, б)

$$X_k = l \frac{h_n(i-1) - h_{нк}}{h_n(i-1) - h_n(i)}. \quad (3.24)$$

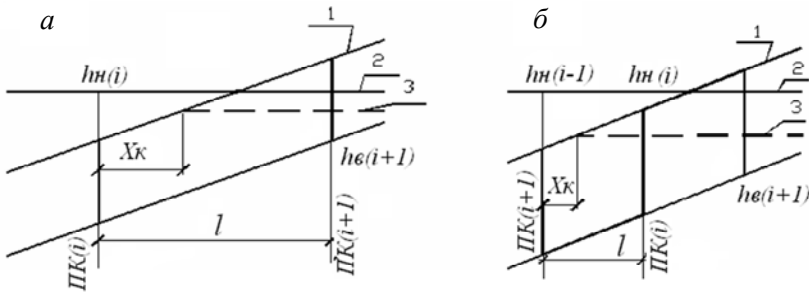


Рис. 3.23. Схема к определению начала (конца) кювета в случае расположения дна кювета параллельно продольному профилю:
 1 – черный профиль; 2 – продольный профиль; 3 – дно кювета

Пример 3.10. Дорога III технической категории. Рабочие отметки на пикетах 10 + 00; 11 + 00; 12 + 00 соответственно равны +2,16; +1,16 (насыпи) и -0,84 (выемка). Дно кювета расположено параллельно продольному профилю. Требуется вычислить пикетное положение начала кювета при его глубине 0,8 и 1,20 м.

Вычислим разность отметок оси дороги и бровки обочины для дороги III технической категории по формуле (3.20):

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

При глубине кювета 0,8 м

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

Ближайшая к выемке насыпь на пикете 11 + 00 имеет рабочую отметку 1,16 м. $1,16 > 0,96$, значит начало кювета расположено между ПК 11 + 00 и ПК 12 + 00 на расстоянии X_k от ПК 11 + 00. По формуле (3.23) вычислим величину X_k :

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

При глубине кювета 1,20 м

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

На ПК 10 + 00 $h_n(10) = 2,16$, то есть $h_n(10) > h_{\text{нк}}$, а на ПК 11 + 00 $h_n(11) = 1,16$, то есть $h_n(11) < h_{\text{нк}}$.

Начало кювета будет находиться на расстоянии X_k от ПК 10 + 00. Величина X_k вычисляется по формуле (3.24):

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

Случай 2. Уклоны продольного профиля на участке дороги, где необходим кювет, – менее 5 ‰. Такие участки могут быть на вертикальных кривых и на прямых. Для обеспечения продольного отвода воды кюветы проектируют раздельно (непараллельно оси дороги) с минимальным уклоном $i = 5 \text{ ‰}$ (3 ‰ – в исключительных случаях для равнинной местности).

Случай 2.1. Продольный профиль – прямая с уклоном менее 5 ‰. Проектирование продольного профиля дна кюветов выполняется следующим образом (рис. 3.24):

1. Намечают водораздельную точку А дна кювета на середине выемки таким образом, чтобы обеспечить минимальное увеличение объема выемки за счет увеличения глубины кювета.

Определяют отметку водораздельной точки А

$$H_{k(A)} = H(A) - h_{нк},$$

где $H(A)$ – отметка продольного профиля на пикете ПК(A);

$h_{нк}$ – минимальное расстояние от оси проезжей части до дна кювета, определяется по формуле (3.21).

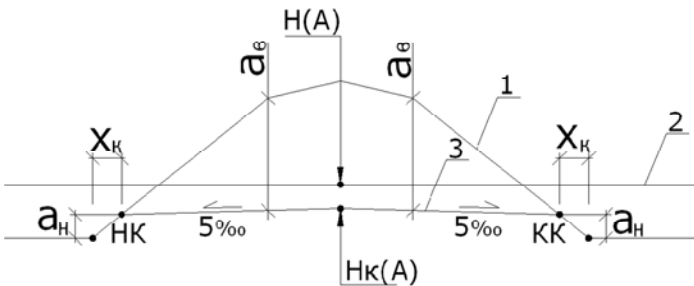


Рис. 3.24. Схема раздельного проектирования кювета:
1 – черный профиль; 2 – продольный профиль трассы;
3 – продольный профиль дна кювета

2. Назначают уклон дна кювета 5 ‰ в стороны от точки А и вычисляют отметки дна кювета

$$H_{\kappa}(i) = H_{\kappa}(A) - 0,005l_{\Lambda}(i), \quad (3.25)$$

где $l_{\Lambda}(i)$ – расстояние от точки А до точки i .

3. Полученные по формуле (3.25) отметки дна кювета сопоставляют с отметками черного профиля (поверхности земли). Если на соседних поперечниках (см. рис. 3.24) дно кювета выше и ниже поверхности земли, то кювет начинается (заканчивается) между этими поперечниками (рис. 3.25).

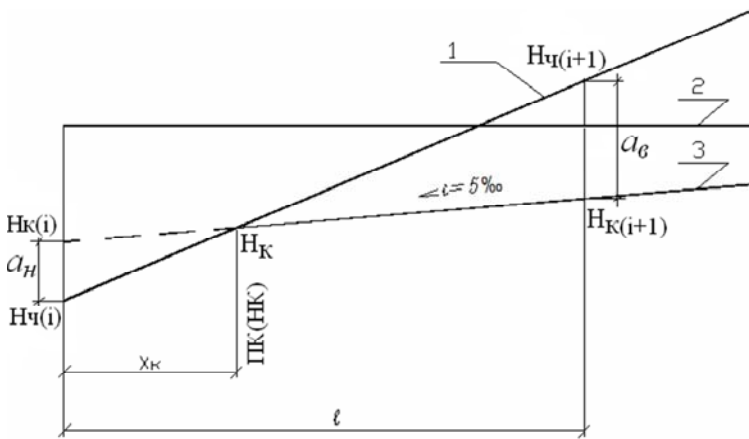


Рис. 3.25. Схема к определению положения начала кювета при раздельном проектировании:
1 – черный профиль; 2 – продольный профиль; 3 – дно кювета

Вычисляют расстояние от поверхности земли до фактического дна кювета в выемке

$$a_{\text{в}} = H_{\text{ч}}(i+1) - H_{\kappa}(i+1)$$

и до условного дна кювета в насыпи

$$a_{\text{н}} = H_{\kappa}(i) - H_{\text{ч}}(i),$$

где $H_{\text{ч}}(i)$, $H_{\text{ч}}(i+1)$, $H_{\kappa}(i)$, $H_{\kappa}(i+1)$ – отметки поверхности земли и дна кювета на поперечниках i и $i+1$.

Расстояние от поперечника с условным дном кювета до начала или конца кювета вычисляют по формуле

$$X_k = \frac{la_n}{(a_n + a_b)}, \quad (3.26)$$

где l – расстояние между поперечниками продольного профиля.

4. Вычисляют пикетное положение начала (НК) и конца (КК) кювета и их отметки:

$$\text{ПК(НК)} = \text{ПК}(i) + X_k, \quad H_k(\text{НК}) = H_k(i) + 0,005X_k; \quad (3.27)$$

$$\text{ПК(КК)} = \text{ПК}(n) - X_k, \quad H_k(\text{КК}) = H_k(n) + 0,005X_k, \quad (3.28)$$

где i – номер последнего поперечника насыпи перед началом кювета;

$H_k(i)$ – отметка условного дна насыпи;

n – номер первого поперечника насыпи после конца кювета.

Пример 3.11. Дорога IV категории на участке выемки проходит с уклоном 0 ‰ и имеет отметку продольного профиля 85,63, $H_k = 1,00$ м. Отметки черного профиля на пикетах 10 + 00, 11 + 00, 12 + 00, 13 + 00 и 14 + 00 равны 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

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

Назначим водораздельную точку дна кювета на ПК 12 + 00. Вычислим отметку дна кювета на ПК 12 + 00:

$$H_k(12) = H(12) - h_k - \Delta Y = 85,63 - 1,00 - 0,13 = 84,50 \text{ м.}$$

Запроектируем дно кювета с уклоном –5 ‰ от пикета 12 + 00 до выхода на поверхность земли.

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

$$H_{\text{к}}(11) = H_{\text{к}}(12) - 0,005l = 84,50 - 0,005 \cdot 100 = 84,00 \text{ м};$$

$$H_{\text{к}}(13) = H_{\text{к}}(11) = 84,00 \text{ м};$$

$$H_{\text{к}}(10) = 84,00 - 0,005 \cdot 100 = 83,50 \text{ м};$$

$$H_{\text{к}}(14) = H_{\text{к}}(10) = 83,50 \text{ м}.$$

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

На пикете 11 + 00 дно кювета имеет отметку 84,00, а поверхность земли – 85,00, то есть оно расположено ниже поверхности земли на 1,00 м. На пикете 10 + 00 условное дно кювета выше поверхности земли на величину $83,50 - 80,50 = 3,00$ м. Кювет начинается на ПК (10 + 00) + $X_{\text{к}}$, вычислим $X_{\text{к}}$ по (3.26):

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

Кювет начинается на пикете 10 + 75. Заносим положение начала кювета в графу 5.

Вычисляем отметку дна начала кювета на пикете 10 + 75 по (3.27):

$$H_{\text{к}}(10 + 75) = H_{\text{к}}(10) \pm 0,005 \cdot 75 = 83,50 + 0,38 = 83,88 \text{ м}.$$

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

$$a_{\text{в}} = 85,00 - 84,00 = 1,00, \quad a_{\text{н}} = 83,50 - 82,00 = 1,50 \text{ м};$$

Кювет заканчивается на расстоянии $X_{\text{к}}$ от ближайшего поперечника с условным дном кювета (см. рис. 3.24)

$$X_{\text{к}} = l \frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{в}} + a_{\text{н}}} = 100 \cdot \frac{1,50}{1,00 + 1,50} = 60 \text{ м}.$$

Конец кювета расположен на пикете ПК(КК) = (14 + 00) – 60 = 13 + 40.

Отмечаем положение конца кювета на пикете 13 + 40 в графе 5 и вычисляем отметку дна в конце кювета по формуле (3.28):

$$H_k(13 + 40) = H_k(14) - 0,005 \cdot 60 = 83,50 - 0,30 = 83,80 \text{ м.}$$

Отметки дна кювета записываются в графу 6.

Случай 2.2. Продольный профиль трассы дороги – выпуклая кривая. Проектирование продольного профиля дна кювета на участках выпуклых кривых (выемки, низкие насыпи) выполняется следующим образом. По формуле (3.22) вычисляется снижение бровки обочины ΔY . Так, для дороги IV категории $\Delta Y = 0,020(3,0 + 0,5) + 0,04 \times \times (2,0 - 0,5) = 0,13 \text{ м}$. Под вершиной выпуклой кривой (ниже ее на $h_{нк} = H_k + \Delta Y$) намечают водораздельную точку А (рис. 3.26). Ее отметку записывают в графу 6. Вычисляют отметки дна кювета справа и слева от точки А на участке длиной $l = 0,01R$ и записывают в графу 6. Уклон i и расстояние l записывают в графу 5. За пределами участка ВС разделительного проектирования на участках ВД и СМ кювет проектируют параллельно оси дороги (см. случай 1) до выхода на поверхность земли (до точек Д и М).

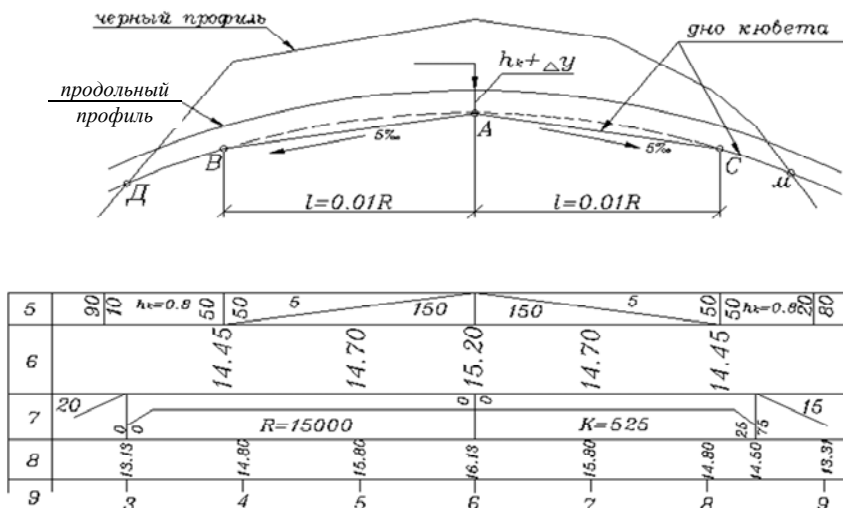


Рис. 3.26. Пример разделительного проектирования продольного профиля дна кювета на участке выпуклой вертикальной кривой

Пример 3.12. Исходные данные даны на рис 3.26. Дорога IV технической категории. Минимальная глубина кювета – 0,8 м. Продольный профиль дороги на участке ПК(3 + 00) – (8 + 25) – выпуклая кривая радиусом 15 000 м.

Вычисленное по формуле (3.22) $\Delta Y = 0,13$ м. От вершины кривой (ПК 6 + 00) проектируем кювет с уклоном дна 5 ‰ на протяжении $0,01R = 150$ м. Отметка дна кювета на ПК 6 + 00 ниже проектной отметки на величину $(h_k + \Delta Y)$ (см. рис. 3.26) и равна $16,13 - 0,80 - 0,13 = 15,20$ м.

Отметки дна кювета на пикетах 5 + 00, 7 + 00, 4 + 50 и 7 + 50 вычислим как отметки прямой с уклоном 5 ‰. На остальном протяжении кювет проектируем параллельно проектной линии ниже ее на величину $(h_k + \Delta Y) = 0,93$ м.

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

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

Типы укрепления назначают по величине продольного уклона и записывают в графу 4: «посев трав», «мощение» и т. д. Там же отмечают границы принятых типов укрепления.

3.2.7. 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 скважины (в выемках, у искусственных сооружений). Глубина скважин в выемках должна давать представление о геологическом строении ниже продольного профиля трассы на 2,5–3,0 м.

Геологический профиль снизу ограничивается тонкой пунктирной линией. Между ней и верхом графы 1 проводят вертикальные линии, соответствующие пикетам и плюсовым точкам, как и на черном профиле (рис. 3.27).

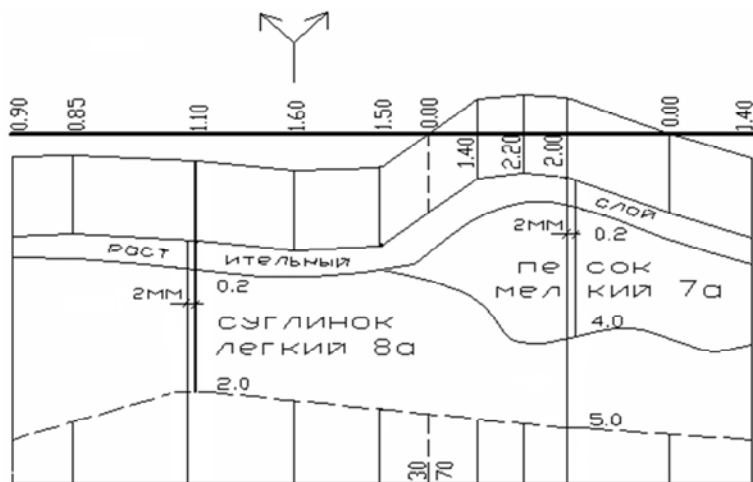


Рис. 3.27. Деталь геологического профиля

На геологическом профиле скважины обозначают в виде колонки шириной 2 мм. У колонки снизу обозначают положение слоя грунта, считая от поверхности земли. Указывают номера грунтов по трудности разработки в соответствии с табл. 3.9.

Таблица 3.9

Обозначение типов грунтов

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		

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1. Земляное полотно и общие требования к нему

Земляным полотном называют массив грунта, предназначенный для размещения элементов автомобильной дороги. Его проектируют в виде насыпей и выемок (рис. 4.1).

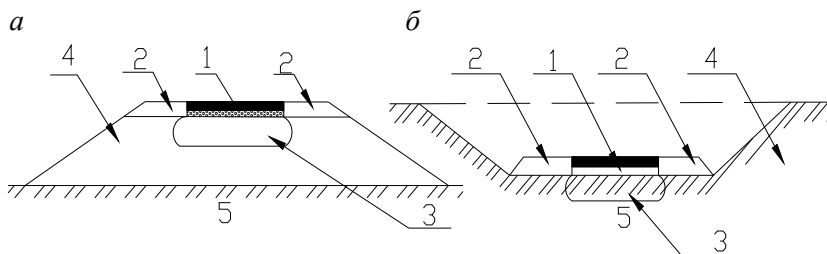


Рис. 4.1. Элементы земляного полотна:

а – в насыпи; *б* – в выемке:

1 – дорожная одежда; *2* – обочина; *3* – рабочий слой земляного полотна; *4* – откосные части земляного полотна; *5* – основание насыпи или выемки; *б* – кювет

В земляном полотне выделяют рабочий слой *3* и откосные части *4* насыпи или выемки. Ниже подошвы насыпи располагается основание насыпи *5*, ниже рабочего слоя выемки *3* располагается основание выемки *5*. Основание насыпи высотой до 12 м распространяется на глубину 10–15 м ниже подошвы насыпи, а высотой более 12 м – на глубину, равную полутора высотам насыпи.

Рабочим слоем земляного полотна называют верхнюю часть земляного полотна, расположенную под дорожной одеждой *1*, в которой возникает заметное напряженное состояние от действия транспортной нагрузки G (рис. 4.2).

Глубина, при которой напряжения σ_z от транспортной нагрузки составляют около 10 % напряжения σ_v от собственного веса земляного полотна, является границей рабочего слоя. Для современных транспортных нагрузок граница рабочего слоя расположена в пределах 1,5 м от поверхности дорожной одежды. Поэтому при низких насыпях в рабочий слой входят и грунты основания насыпи.

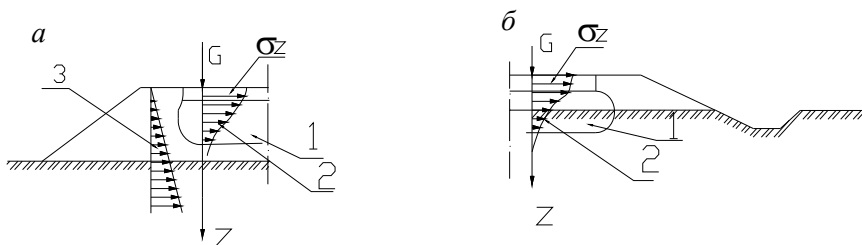


Рис. 4.2. Схема распределения напряжений σ_z от действия транспортной нагрузки G по глубине z :
 а – высокая насыпь; б – низкая насыпь;
 1 – рабочий слой; 2, 3 – эторы распределения напряжений от транспортной нагрузки и собственного веса насыпи

На земляное полотно воздействуют нагрузки (транспортные, собственный вес) и природные факторы (изменение влажности и температуры, действие воды, льда, ветра).

К земляному полотну предъявляются следующие общие требования: устойчивость, прочность, снегонезаносимость, безопасность движения, экономичность.

Устойчивость земляного полотна – способность воспринимать действие собственного веса без образования макродеформаций таких, как оползни и сплывы откосов, просадка насыпей.

Прочность земляного полотна – способность воспринимать действие транспортной нагрузки без образования остаточных микродеформаций, снижающих ровность проезжей части.

Проектирование земляного полотна при устойчивых основаниях, из устойчивых грунтов (пески, супеси, суглинки) и отсутствии длительного действия воды заключается в назначении поперечных профилей земляного полотна, типа укрепления откосов.

В равнинной и пересеченной местности основными формами земляного полотна являются насыпи и выемки. При высоте откоса насыпи или выемки до 12 м поперечные профили назначают типовыми.

4.2. Типовые поперечные профили насыпей

Типовые поперечные профили неподтопляемых насыпей выработаны дорожной практикой исходя из обеспечения таких требований к земляному полотну, как безопасность движения, устойчи-

вость откосов против образования оползней и экономичность. Снегонезаносимость насыпи обеспечивается соблюдением руководящей рабочей отметки на участках первого типа местности. Различают низкие и высокие насыпи.

Низкие насыпи с высотой откоса до 3 м на дорогах I и II категорий и до 2 м на дорогах III и IV категорий для обеспечения безопасного съезда (без опрокидывания) транспортных средств в аварийных ситуациях проектируют с пологими откосами. Крутизну откоса характеризуют отношением высоты откоса к его горизонтальной проекции (1 : m). Крутизна откосов низких насыпей (рис. 4.3) принимается 1 : 4 на дороге I-а категории и 1 : 3 на дорогах I-б, I-в и II категорий при высоте откоса до 3 м. На дорогах III и IV категории крутизна откоса 1 : 3 назначается при высоте откоса до 2 м.

Кюветы предусматривают в случае, когда высота откоса насыпи меньше требуемой глубины кювета h_k (см. п. 3.2.6).

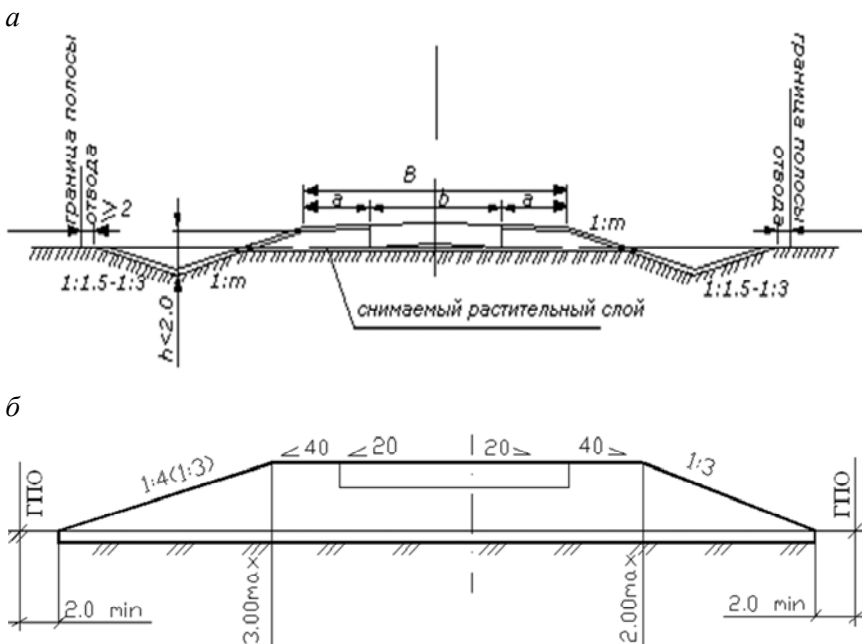


Рис. 4.3. Поперечные профили низких насыпей с высотой откоса до 2 (3) м:
а – с кюветами; б – без кюветов

Высокие насыпи делятся на насыпи с высотой откоса до 6 м и с высотой откоса до 12 м. В случае высоких насыпей выполняют такие требования к земляному полотну, как экономичность и устойчивость откосов. В целях уменьшения ширины полосы отвода под автомобильную дорогу, объемов земляных работ и стоимости строительства крутизна откосов высотой до 6 м назначается по условию устойчивости до значений 1:1,75 при глинистых грунтах и 1:1,5 при песчаных, за исключением мелких и пылеватых. При такой крутизне откосы укрепляют травосеянием.

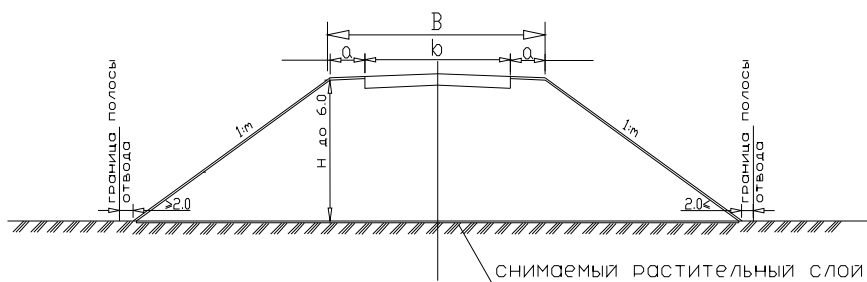


Рис. 4.4. Поперечный профиль насыпи с высотой откоса до 6 м

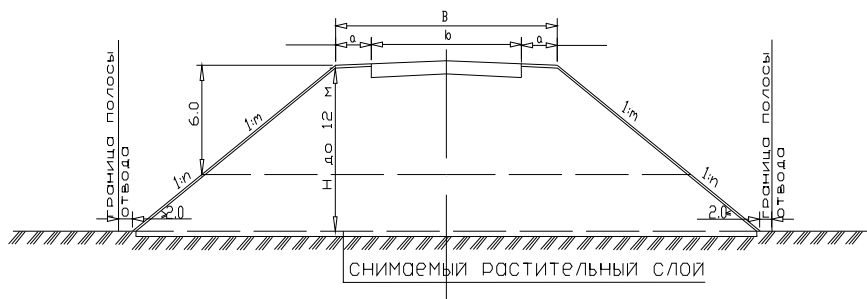


Рис. 4.5. Поперечный профиль насыпи с высотой откоса до 12,0 м

Теоретическое очертание устойчивого откоса криволинейное. По условиям технологии планировки откоса механизмами принято очертание откоса ломаным на высоте 6 м от бровки обочины (рис. 4.6). Крутизна откоса в верхней части насыпи (6–12 м) большая, а в нижней меньшая. Крутизна откосов насыпей принимается по табл. 4.1.

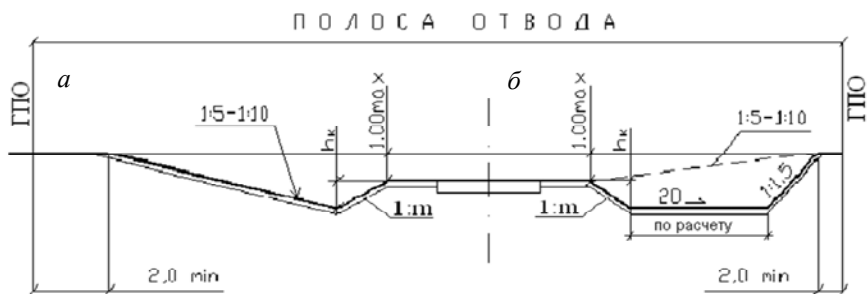


Рис. 4.6. Поперечный профиль мелкой выемки на открытой местности

Таблица 4.1

Наибольшая крутизна откосов

Грунты насыпи	Высота откоса насыпи, м		
	до 6	до 12	
		в нижней части (0–6)	в верхней части (6–12)
Крупнообломочные, пески крупные и средней крупности	1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1,5
Пески мелкие и пылеватые	1 : 1,5	1 : 2	1 : 1,5
Глинистые грунты	1 : 1,75	1 : 2	1 : 1,75

4.3. Типовые поперечные профили выемок

На открытых участках местности по условиям снегонезаносимости дороги мелкие выемки проектируют раскрытыми (рис. 4.6, а) или разделанными под насыпь (рис. 4.6, б), в выемках глубиной до 5 м откос выемки отдаляют от дороги путем устройства зацветной полки (кувет-резерва) шириной не менее 4 м (рис. 4.7). Заложение откоса со стороны обочины принимают 1:4 для дорог категории I-а и 1:3 – для дорог I-б–IV категорий по условиям безопасности движения, аналогично заложению откосов низких насыпей (см. рис. 4.3).

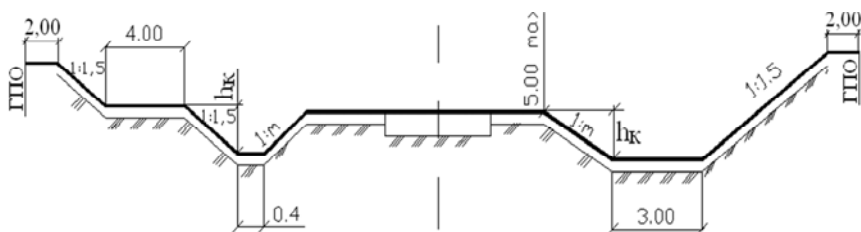


Рис. 4.7. Поперечный профиль выемки глубиной до 5 м на снеготаносимом участке местности

На снеготаносимых участках выемки глубиной 0–12 м проектируют с заложением откосов 1 : 1,5 по условиям их устойчивости (рис. 4.8, а). Такой же поперечный профиль имеют выемки глубиной 5–12 м на снеготаносимых участках местности. Заложение откосов со стороны обочины принимают 1 : 4 для дороги категории I-а и 1 : 3 – для дорог I-б–IV категорий.

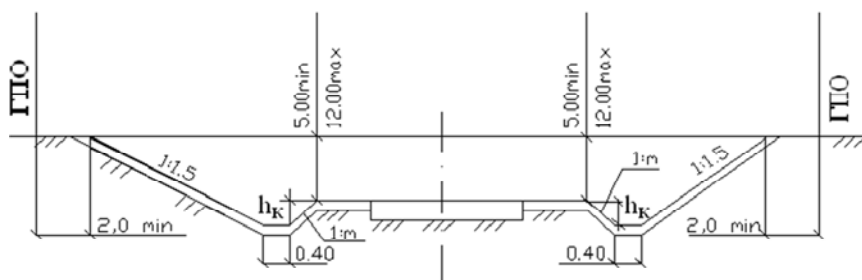


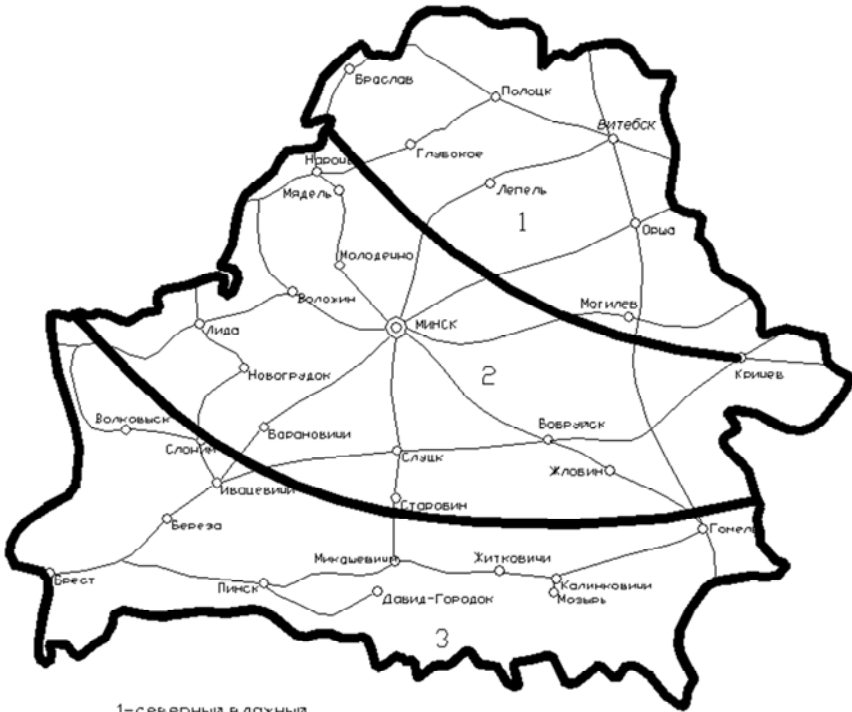
Рис. 4.8. Поперечный профиль выемки глубиной более 5 м

Поперечные профили земляного полотна вычерчивают на миллиметровой бумаге в масштабе 1 : 200 или 1 : 100. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковы. Типовым для данной дороги поперечникам присваивают номера (тип 1, тип 2 и т. д.), в соответствии с которыми в графе 3 (см. рис. 3.10) продольного профиля указывают их наименование и границы применения с расстояниями до ближайших пикетов. Границей между насыпью и выемкой является положение рабочей отметки, равной нулю. Рядом с поперечным профилем данного типа земляного полотна приводят таблицу участков его применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006. – Минск, 2006.
2. Автомобильные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования: ТКП 200-2009(02191). – Минск, 2009.

Дорожно-климатическое районирование
территории Республики Беларусь



- 1-северный, влажный
- 2-центральный, умеренно-влажный
- 3-южная, неустойчиво-влажная

— автомобильные дороги
— границы дорожно-климатических районов

Учебное издание

ЯЦЕВИЧ Иван Климентьевич
КОНОНОВА Елена Ивановна

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Редактор *Е. С. Кочерго*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 18.11.2016. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 4,73. Тираж 300. Заказ 358.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.