

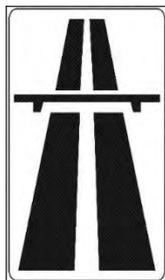
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

# ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»  
дневной и заочной форм обучения*

Часть 4



Могилев 2019

УДК 625.72  
ББК 39.311  
И79

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «29» октября 2019 г.,  
протокол № 3

Составители: А. М. Сергеева; О. И. Бродова;  
Ю. Н. Лебедева; Е. А. Шаройкина

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

В методических рекомендациях рассматриваются вопросы расчета элементов пересечения и составления схемы обстановки дороги на транспортной развязке «Клеверный лист», проектирования примыкания в двух уровнях по типу «Труба», реконструкции автомобильной дороги, а также расчета дорожных насыпей на болотных грунтах.

Учебно-методическое издание

ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Часть 4

Ответственный за выпуск	В. В. Кутузов
Редактор	А. А. Подошево
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Расчет элементов пересечения по типу «Клеверный лист».....	5
2 Практическая работа № 2. Составление схемы обстановки дороги на транспортной развязке «Клеверный лист».....	23
3 Практическая работа № 3. Проектирование примыкания в двух уровня по типу «Труба».....	25
4 Практическая работа № 4. Реконструкция автомобильной дороги.....	36
5 Практическая работа № 5. Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах.....	43
Список литературы.....	48



## Введение

Целью учебной дисциплины «Изыскание и проектирование автомобильных дорог» является формирование у студентов знаний о методах проектирования и изысканий автомобильных дорог с учетом народно-хозяйственного значения этих сооружений, природных условий, требований эффективной и безопасной эксплуатации автомобильного транспорта.

Задачами учебной дисциплины являются изучение основ расчета при проектировании пересечений и примыканий автомобильных дорог, проектирование и установка знаков.

Цель практических занятий заключается в формировании знаний, умений и навыков, необходимых в области проектирования автомобильных дорог, в частности: расчета элементов пересечения и составления схемы обстановки дороги на транспортной развязке «Клеверный лист», проектирования примыкания в двух уровнях по типу «Труба», реконструкции автомобильной дороги, а также расчета дорожных насыпей на болотных грунтах.

Практические занятия обеспечивают подготовку студентов к инженерной деятельности в области проектирования автомобильных дорог.

Отчеты содержат расчеты по темам и пояснительные рисунки, а также графическую часть, которая может быть выполнена с применением программного комплекса «CREDO ДОРОГИ», «AutoCAD». Работы оформляются в рабочих тетрадях или на листах формата А4.



## 1 Практическая работа № 1. Расчет элементов пересечения по типу «Клеверный лист»

На транспортных развязках, имеющих в основе элементы кольца, для размещения подъездов и спусков, а также расположения вертикальных кривых радиус кольца очень часто приходится назначать значительно больше минимального значения, найденного по формуле

$$R_{\min} = \frac{V^2}{g \cdot (\mu + i_g)}, \quad (1.1)$$

где  $V$  – расчетная скорость движения, м/с;  
 $g$  – ускорение свободного падения, м/с;  
 $\mu$  – коэффициент поперечной силы,  $\mu = 0,2 - 7,5^{-4} \cdot V$ ;  
 $i_g$  – поперечный уклон виража.

При отсутствии виража (на двухпутном съезде при двухскатном поперечном уклоне или на однопутном съезде с поперечным уклоном, направленном не внутрь кривой, а наружу) минимальный радиус съезда

$$R_{\min} = \frac{V^2}{g \cdot (\mu - i_n)}, \quad (1.2)$$

где  $i_n$  – поперечный уклон проезжей части кривой.

На рисунке 1.2 показана схема пересечения автомобильных дорог в разных уровнях по типу клеверного листа с переходно-скоростными полосами для левоповоротного потока движения. Такую схему применяют при взаимном пересечении дорог II категории. Если же пересекаются дороги I категории, то устанавливают единые переходно-скоростные полосы для потоков, сворачивающих влево и вправо.

Расчет элементов пересечения по типу клеверного листа левоповоротного съезда. Расчет производят в такой последовательности: сначала рассчитывают элементы левоповоротных съездов, так как они, в основном, определяют размеры транспортной развязки. Если автомобильные дороги пересекаются под прямым углом, то все левоповоротные съезды находятся примерно в одинаковых условиях. В таких случаях производят расчет элементов только одного левоповоротного съезда, а для остальных съездов принимают те же элементы. Если же дороги пересекаются под острым углом, то сначала рассчитывают элементы левоповоротного съезда, который соответствует углу. Это объясняется тем, что условия проектирования указанного съезда являются более сложными, чем смежного с ним съезда при одинаковом для всех левоповоротных съездов радиусе круговой кривой  $R$ , найденном по формуле (1.1), длина данного съезда меньше, чем съезда, который соответствует тупому углу  $a' = 180^\circ - a$ . Эта длина может не позволить запроектировать съезд в продольном профиле с соблю-



дением необходимых значений максимального продольного уклона радиусов вертикальных кривых. Тогда приходится увеличивать радиус круговой кривой  $R$  по сравнению с его значением, найденным по формуле (1.1). Затем производят расчет левоповоротного съезда, соответствующего тупому углу.

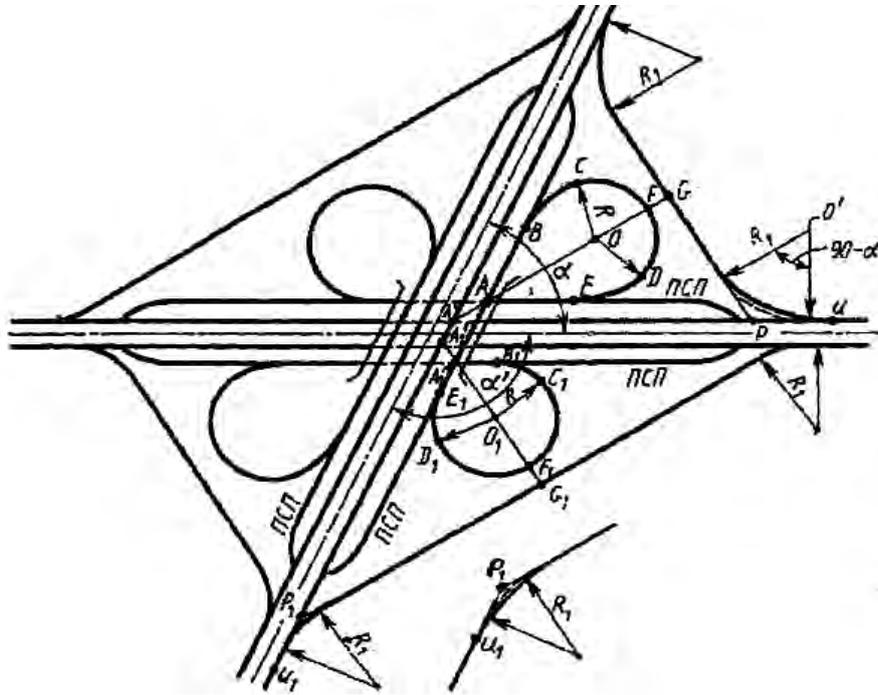


Рисунок 1.1 – Расчетная схема пересечения по типу клеверного листа

После этого рассчитывают элементы правоповоротных съездов.

На рисунке 1.2 показана расчетная схема левоповоротного съезда, соответствующая острому углу. Расчет левоповоротного съезда заключается в определении расстояния между точками  $A$  и  $B$ ,  $A$  и  $E$  (т. е. в нахождении отрезка  $AB = AE$ ), а также в установлении полной длины: съезда с учетом возможности проектирования его в продольном профиле.

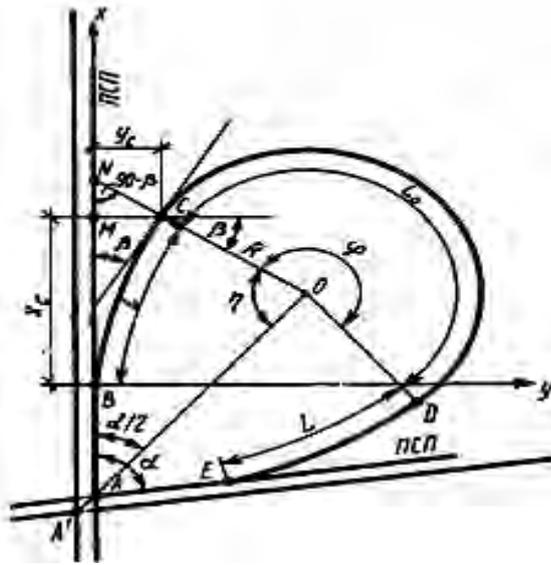
Как видно из рисунка 1.2, расстояние из косоугольного треугольника  $AMO$  на основании теоремы синусов можно записать как

$$\frac{AN}{\sin \eta} = \frac{ON}{\sin \frac{\alpha}{2}},$$

где  $\eta = 180^\circ - \alpha / 2 - (90^\circ - \beta) = 90^\circ + \beta - \alpha / 2$ ;  
отрезок  $ON = OC + CN = R + Y_c / \cos \beta$ .

Тогда отрезок

$$AN = ON \frac{\sin \eta}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \left( R + \frac{Y_c}{\cos \beta} \right) \cdot \frac{\sin \eta}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.3)$$



$R$  – радиус круговой кривой;  $O$  – центр круговой кривой;  $\varphi$  – центральный угол круговой кривой;  $L_0$  – длина круговой кривой;  $A$  – точка пересечения осей переходно-скоростных полос;  $A'$  – точка пересечения осей внешних полос движения;  $B$  – начало первой переходной кривой (начало съезда);  $C$  – конец первой кривой и начало круговой кривой;  $D$  – конец круговой кривой и начало второй переходной кривой;  $E$  – конец второй переходной кривой (конец съезда);  $L$  – длина переходной кривой;  $\beta$  – угол поворота переходной кривой;  $X_c$  – абсцисса точки  $C$ ,  $X_c = BM$ ;  $Y_c$  – ордината точки  $C$ ,  $Y_c = MC$ ;  $\eta$  – угол между биссектрисой угла  $\alpha$  и отрезком  $OC$

Рисунок 1.2 – Расчетная схема левоповоротного съезда

Окончательно получаем

$$AB = AE = \left( R + \frac{Y_c}{\cos \beta} \right) \cdot \frac{\sin \eta}{\sin \frac{\alpha}{2}} - X_c - Y_c \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (1.4)$$

Длина круговой кривой

$$L_0 = \frac{2\pi R}{360^\circ} \cdot \varphi = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot \varphi. \quad (1.5)$$

Центральный угол круговой кривой

$$\varphi = 360^\circ - 2\eta = 360^\circ - 2 \cdot \left( 90^\circ + \beta - \frac{\alpha}{2} \right) = 180^\circ + \alpha - 2\beta. \quad (1.6)$$

Длина съезда в плане

$$L_{пл} = L_0 + 2L. \quad (1.7)$$

Левоповоротные съезды можно рассчитывать на постоянную и переменную скорости. Если левоповоротный съезд проектируют на постоянную скорость, то длину переходной кривой  $L$ , описываемой по клотоиде, находят по формуле

$$L = \frac{V^3}{R \cdot J}, \quad (1.8)$$

где  $V$  – расчетная скорость движения по кривой, м/с;

$R$  – радиус (основной) кривой, м;

$J$  – степень нарастания центробежного ускорения (максимальное значение принимают равным  $0,6 \text{ м/с}^3$ ),  $\text{м/с}^3$ .

Угол поворота переходной кривой определяют по формуле

$$\beta = \frac{57,3L}{2R}. \quad (1.9)$$

Если левоповоротный съезд проектируется на наименьшую скорость, то в пределах переходной кривой скорость движения автомобиля будет изменяться от  $V_{np}$  до  $V_{кр}$ , а длину переходной кривой вычисляют по формуле

$$L = \frac{(V_{np}^2 - V_{кр}^2)}{2 \cdot a}, \quad (1.10)$$

где  $V_{np}$  – скорость движения автомобиля на прямом участке дороги;

$V_{кр}$  – скорость движения автомобиля на круговой кривой;

$a$  – ускорение, с которым снижается скорость от  $V_{np}$  до  $V_{кр}$ .

$$a = \frac{(V_{np} - V_{кр})}{T}, \quad (1.11)$$

где  $T$  – время, в течение которого автомобиль перемещается по переходной кривой.

Абсциссу и ординату точки  $C$  находим по формулам

$$X_c = L - \frac{a^2}{10(V_{np} - V_{кр})^2 \cdot V_{np}^6} \cdot L^5; \quad (1.12)$$

$$Y_c = \frac{a}{3(V_{np} - V_{кр}) \cdot V_{np}^3} \cdot L^3. \quad (1.13)$$



Угол поворота переходной кривой

$$\beta = 57,3 \left( \frac{a}{(V_{np} - V_{kp}) \cdot V_{np}^3} \cdot L^2 + \frac{5a^2}{3(V_{np} - V_{kp}) \cdot V_{np}^5} \cdot L^3 \right). \quad (1.14)$$

Найденная по формуле (1.8) или (1.10) длина переходной кривой должна удовлетворять следующим условиям:

$$L \geq l_c + l_o, \quad (1.15)$$

где  $l_o$  – длина отгона виража;

$l_c$  – длина совмещенного участка съезда и переходно-скоростной полосы.

Если съезд транспортной развязки проектируют на постоянную скорость движения, то длина совмещенного участка может быть выведена из формулы

$$Y = \frac{l_c^3}{6C}, \quad (1.16)$$

где  $C$  – параметр кривой.

Таким образом,

$$l_c = \sqrt[3]{6CY}, \quad (1.17)$$

где  $Y_a = 0,5 (П_1 + П_2)$ ;

$П_1$  – ширина полосы движения однопутного съезда;

$П_2$  – ширина полосы движения двухпутной дороги или ширина переходно-скоростной полосы, м.

Ширина  $П_1$  дана в таблице 1.1.

В таблице 1.2 даны значения  $l_c$ , подсчитанные по формуле (1.17).

Если съезд транспортной развязки проектируют на переменную скорость движения, то длина совмещенного участка  $l_c$  может быть найдена по формуле

$$l_c = V_{np} \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{a} \cdot (V_{np} - V_{kp}) \cdot Y}. \quad (1.18)$$

В таблице 1.3 даны значения длин совмещенного участка  $l_c$ , подсчитанные по формуле (1.18).

Если это условие не соблюдается, то нужно или увеличить длину переходной кривой  $L$ , или уменьшить длину отгона виража  $l_o$ .

При проектировании съезда на постоянную скорость увеличить длину переходной кривой  $L$  можно путем снижения степени нарастания центробежного



ускорения. При проектировании съезда на переменную скорость для увеличения длины переходной кривой  $L$  следует увеличить ускорение  $a$ . Уменьшение длины отгона виража  $l_o$  может быть осуществлено путем увеличения продольного уклона отгона виража  $i_o$ .

Таблица 1.1 – Максимальные расчетные значения ширины полосы проезжей части и двухпутных съездов

Показатель	Однопутный съезд при, км/ч			Двухпутный съезд при, км/ч		
	40	с 40 по 70	70	40	с 40 по 70	70
Ширина полосы движения, м	3,25	3,50	3,75	3,50	3,75	4,00
То же проезжей части, м	3,25	3,50	3,75	7,00	7,50	8,00
То же земляного полотна, м	7,75	8,00	8,25	11,00	12,50	13,50

Таблица 1.2 – Определение  $l_c$  для постоянной скорости

Скорость движения $V$ , км/ч	Радиус круговой кривой $R$ , м	Длина переходной кривой $L$ , м	Параметр $C$ , м	Ширина полосы движения $П$ , м	Ордината $У$ , м	Длина совмещенного участка $l_c$ , м
40	60	70	4200	3,25	3,5	45
50	90	75	6750	3,5	3,6	58
50	100	80	8000	3,5	3,6	56
60	125	85	10625	3,5	3,6	61
60	150	90	13500	3,75	3,8	66
70	180	95	17100	3,75	3,8	73
70	200	100	20000	3,75	3,8	77
70	210	105	23100	3,75	3,8	81
80	280	110	27500	3,75	3,8	86
80	300	120	36000	3,75	3,8	94
90	350	130	45300	3,75	3,8	101
90	400	135	54000	3,75	3,8	107

Таблица 1.3 – Значения длин совмещенного участка  $l_c$

Скорость движения		$a$ , м/с	$П$ , м	Ордината $У$ , м	$l_c$ , м
$V_{пр}$ , км/ч	$V_{кр}$ , км/ч				
50	40	0,50	3,5	3,6	55
60	50	0,47	3,5	3,6	67
70	60	0,48	3,75	3,8	78
80	70	0,50	3,75	3,8	91

После определения длины левоповоротного съезда в плане  $L_{нл}$  нужно найти длину съезда  $L'_{нл}$ , в пределах которой может осуществиться его самостоятельное проектирование. Длину  $L'_{нл}$  определяют по формуле

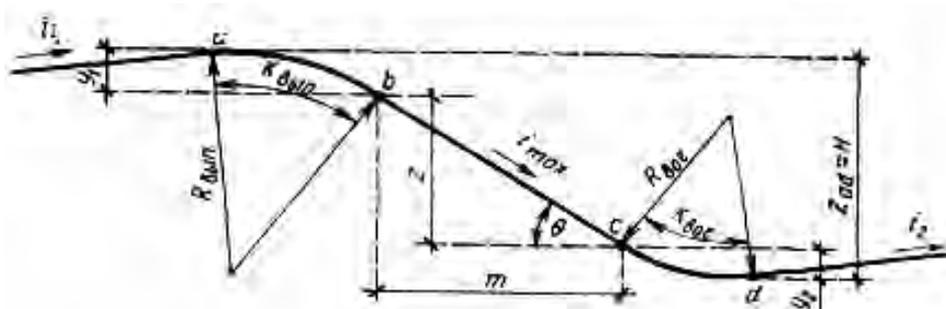


$$L'_{nl} = L_{nl} - 2 \cdot l_c. \quad (1.19)$$

Затем проверяем, является ли полученная длина  $L'_{nl}$  достаточной для возможности проектирования левоповоротного съезда в продольном профиле.

На рисунке 1.3 показан продольный профиль левоповоротного съезда. Обозначим через  $L_{np}$  длину левоповоротного съезда в продольном профиле, в пределах которого осуществляется его самостоятельное проектирование:

$$L_{np} = \frac{H}{i_{\max}} + \frac{R_{\text{вн}}}{2 \cdot i_{\max}} \cdot (i_1 + i_{\max})^2 + \frac{R_{\text{вн}}}{2 \cdot i_{\max}} \cdot (i_2 + i_{\max})^2. \quad (1.20)$$



$i_1, i_2$  – продольные уклоны пересекающихся дорог;  $i_{\max}$  – максимальный продольный уклон на съезде;  $m$  – проекция участка съезда с максимальным уклоном на горизонтальную плоскость (на малости угла  $\theta$  можно принимать  $m \approx bc$ , т. е. считать, что  $m$  – длина участка съезда с максимальным уклоном, например при  $i_{\max} = \text{tg}\theta = 0,04$ , угол  $\theta = 2^\circ 18'$ ,  $\cos\theta = 0,9992$ ,  $m = bc \cdot \cos\theta = bc \cdot 0,9992 \approx bc$ );  $Z_{ad}$  – разность отметок точек  $a$  и  $d$  (величину  $Z_{ad}$  можно принимать приблизительно равной разности отметок бровок земляного полотна пересекающихся дорог  $H$ )

Рисунок 1.3 – Продольный профиль левоповоротного съезда

При этом должно соблюдаться условие  $L_{nl} \geq L_{np}$ .

В противном случае можно увеличить геометрические элементы левоповоротного съезда и добиться соблюдения необходимого условия.

Аналогично проводят расчет левоповоротного съезда, соответствующего тупому углу  $\alpha' = 180^\circ - \alpha$ . Для этого съезда параметры  $L, l_c, l_o, \beta, X_c$  и  $Y_c$  имеют те же значения, что и для левоповоротного съезда, соответствующего углу  $\alpha$ .

**Пример** – Рассчитать элементы пересечения автомобильных дорог II категории по типу клеверного листа по следующим исходным данным: угол пересечения  $\alpha = 76^\circ 40'$ ; расчетная скорость на левоповоротных съездах переменная:  $V_{np} = 60$  км/ч (16,7 м/с) и  $V_{кр} = 50$  км/ч (13,9 м/с); расчетная скорость на правоповоротных съездах постоянная:  $V = 80$  км/ч (22,2 м/с); коэффициент полного сцепления  $\varphi = 0,60$ ; коэффициент продольного сцепления  $\varphi_1 = 0,8 \cdot \varphi = 0,8 \cdot 0,60 = 0,48$ ; разность отметок бровок земляного полотна дорог в месте их пересечения  $H = 6,5$  м; поперечный уклон проезжей части пересекающихся до-

рог  $i_n = 20 \text{ ‰}$ ; продольные уклоны дорог в пределах транспортной развязки:  $i_1 = i_2 = 10 \text{ ‰}$ . На левоповоротных съездах: максимальный продольный уклон  $i_{\max} = 40 \text{ ‰}$ ; уклон виража  $i_e = 50 \text{ ‰}$ ; продольный уклон отгона виража  $i_o = 6 \text{ ‰}$ ; ускорение автомобиля в пределах переходной кривой  $a = 0,5 \text{ м/с}^2$ . На правоповоротных съездах: поперечный уклон проезжей части на прямолинейном участке  $i_n = 20 \text{ ‰}$ ; уклон виража  $i_e = 5 \text{ ‰}$ ; степень нарастания центробежного ускорения  $j = 0,35 \text{ м/с}^3$ .

### Решение

Произведем расчет левоповоротного съезда, соответствующего углу  $\alpha = 76^\circ 40'$ .

Определяем длину переходной кривой  $L$  по формуле (1.10):

$$L = \frac{16,7^2 - 13,9^2}{2 \cdot 0,5} = 85,0 \text{ м.}$$

Длина совмещенного участка  $l_c = 66 \text{ м}$ .

Вычисляем длину отгона виража  $l_o$  по формуле

$$l_o = \frac{b_1 \cdot (i_e - i_n)}{i_o}. \quad (1.21)$$

При скорости  $V = 60 \text{ км/ч}$  минимальная ширина проезжей части однопутного съезда  $b_1 = 3,50 \text{ м}$ . Ширину проезжей части на однопутных левоповоротных съездах транспортных развязок принимаем  $b_1 = 5,5 \text{ м}$  [1]. Тогда

$$l_o = \frac{5,5 \cdot (0,05 - 0,02)}{0,006} = 27,5 \text{ м.}$$

Принимаем  $l_o = 28 \text{ м}$ .

Сумма длин  $l_c + l_o = 66 + 28 = 94 \text{ м}$ . Следовательно,  $L < l_c + l_o$  ( $85 \text{ м} < 94 \text{ м}$ ). Поэтому нужно или увеличить длину передней кривой  $L$  за счет уменьшения ускорения  $a$ , или сократить длину отгона виража  $l_o$  за счет увеличения уклона  $i_o$ .

Уменьшаем длину отгона виража  $l_o$ . Принимаем продольный уклон отгона виража  $i_o = 0,009$  (максимально допустимый продольный уклон отгона виража для съездов равен  $0,010$ ).

Тогда длина отгона виража

$$l_o = \frac{5,5 \cdot (0,05 - 0,02)}{0,009} = 18,3 \text{ м.}$$

Принимаем  $l_o = 19 \text{ м}$ .

Сумма длин  $l_c + l_o = 66 + 19 = 85 \text{ м}$ . Следовательно,  $L = l_c + l_o$  ( $85 \text{ м} = 85 \text{ м}$ ).

Определяем по формуле (1.14) угол поворота переходной кривой:



$$\beta = 57,3 \left( \frac{0,50}{(16,7 - 13,9) \cdot 16,7^3} \cdot 85^2 + \frac{5 \cdot 0,5^2}{3(16,7 - 13,9) \cdot 16,7^5} \cdot 85^3 \right) = 19,88^\circ = 19^\circ 53'.$$

Вычисляем центральный угол круговой кривой по формуле (1.6):

$$\varphi = 180^\circ + \alpha - 2\beta = 180^\circ + 76^\circ 40' - 2 \cdot 19^\circ 53' = 216^\circ 54'.$$

Определяем по формуле (1.1) радиус горизонтальной кривой  $R$ . Принимаем коэффициент поперечной силы  $\mu$  равным 0,165.

Тогда радиус

$$R_{\min} = \frac{13,9^2}{9,8 \cdot (0,165 + 0,05)} = 91,6 \text{ м.}$$

Принимаем  $R = 90$  м.

Вычисляем длину круговой кривой по формуле (1.5):

$$L_0 = \frac{3,14 \cdot 90}{180} \cdot 216,90 = 340,5 \text{ м.}$$

Определяем по формуле (1.7) длину левоповоротного съезда в плане:

$$L_{nl} = 340,5 + 2 \cdot 85,0 = 510,5 \text{ м.}$$

Находим из выражения (1.19) длину левоповоротного съезда в плане, в пределах которой может осуществляться его самостоятельное проектирование:

$$L'_{nl} = 510,5 + 2 \cdot 66,0 = 378,5 \text{ м.}$$

Далее необходимо вычислить по формуле (1.20) длину левоповоротного съезда в продольном профиле  $L_{np}$ , в пределах которого осуществляется его самостоятельное проектирование.

Радиус выпуклой вертикальной кривой  $R_{вып}$  находим по формуле

$$R_{вып} = \frac{S^2}{2 \cdot h}, \quad (1.22)$$

где  $h$  – возвышение глаза водителя над поверхностью дороги,  $h = 1,2$  м;

$S$  – расчетное расстояние видимости в продольном профиле, м.

Так как на левоповоротном съезде вертикальные кривые совпадают с горизонтальной, то при определении радиуса выпуклой вертикальной кривой  $R_{вып}$  расчетное расстояние видимости в продольном профиле  $S$  находим по формуле



$$S = V \cdot t_p + k_{\varepsilon} \cdot \frac{V^2}{2g \cdot (\varphi_1 + f)} + 5, \quad (1.23)$$

где  $t_p$  – время реакции водителя и включения тормозов,  $t_p = 1$  с;

$V$  – расчетная скорость, м/с;

$k_{\varepsilon}$  – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов,  $k_{\varepsilon} = 2$ ;

$\varphi_1$  – коэффициент продольного сцепления,  $\varphi_1 = 0,48$ ;

$f$  – коэффициент сопротивления качению,  $f = 0,02$ .

$$S = 13,9 \cdot 1 + 2,0 \cdot \frac{13,9^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (0,48 + 0,02)} + 5 = 58,3 \text{ м.}$$

Принимаем  $S = 60$  м.

$$R_{\text{вн}} = \frac{60^2}{2 \cdot 1,2} = 1500 \text{ м.}$$

Для установления радиуса вогнутой вертикальной кривой  $R_{602}$  предварительно находим расчетное расстояние видимости в продольном профиле  $S$  по формуле (1.23) при  $\varphi = 0,60$ :

$$S = 13,9 \cdot 1 + 2,0 \cdot \frac{13,9^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (0,6 + 0,02)} + 5 = 50,7 \text{ м.}$$

Принимаем  $S = 50$  м.

Определяем радиус вогнутой вертикальной кривой  $R_{602}$ :

$$R_{602} = \frac{S^2}{2 \cdot (h_{\varphi} + S \cdot \sin \alpha / 2)}, \quad (1.24)$$

где  $h_{\varphi}$  – возвышение центра фары над поверхностью дороги,  $h_{\varphi} = 0,7$  м;

$\alpha$  – угол рассеивания пучка света фар,  $\alpha = 2^\circ$ .

$$R_{602} = \frac{50^2}{2 \cdot (0,7 + 50 \cdot \sin 2^\circ / 2)} = 794 \text{ м.}$$

Принимаем  $R_{602} = 800$  м.

Тогда длину в продольном профиле определяем по формуле (1.20):

$$L_{np} = \frac{0,65}{0,04} + \frac{1500}{2 \cdot 0,04} \cdot (0,01 + 0,04)^2 + \frac{800}{2 \cdot 0,04} \cdot (0,01 + 0,04)^2 = 234,0 \text{ м.}$$

Получаем  $L'_{nl} > L_{np}$  ( $378,5 \text{ м} > 234,0 \text{ м}$ ). Так как длина съезда в плане  $L'_{nl}$



намного превышает его длину в продольном профиле  $L_{np}$ , то можно уменьшить максимальный продольный уклон съезда  $i_{\max}$  и увеличить радиусы вертикальных кривых  $R_{вып}$  и  $R_{вог}$ .

Принимаем  $i_{\max} = 30 \text{ ‰}$ ,  $R_{вып} = 5000 \text{ м}$ ,  $R_{вог} = 1000 \text{ м}$ .

Тогда по формуле (1.20) получаем  $L_{np} = 376,7 \text{ м} \approx L'_{nl} = 378,5 \text{ м}$ .

Далее по формулам (1.12) и (1.13) определяем координаты конца переходной кривой:

$$X_c = 85 - \frac{0,50^2}{10(16,7 - 13,9)^2 \cdot 16,7^6} \cdot 85^5 = 84,35 \text{ м};$$

$$Y_c = \frac{0,50}{3(16,7 - 13,9) \cdot 16,7^3} \cdot 85^3 = 7,85 \text{ м}.$$

Затем вычисляем угол  $\eta$ ,  $\sin\eta$ ,  $\sin\alpha/2$ ,  $\cos\beta$ ,  $\text{tg}\beta$ :

$$\eta = 90^\circ + \beta - \alpha/2 = 90^\circ + 19^\circ 53' - 76^\circ 40'/2 = 71^\circ 33';$$

$$\sin\eta = \sin 71^\circ 33' = 0,9486; \sin\alpha/2 = \sin 76^\circ 40'/2 = \sin 38^\circ 20' = 0,6203;$$

$$\cos\beta = \cos 19^\circ 53' = 0,9404; \text{tg}\beta = \text{tg} 19^\circ 53' = 0,3617.$$

Тогда расстояние  $AB = AE$  определяем по формуле (1.4):

$$AB = AE = \left( 90 + \frac{7,85}{0,9404} \right) \cdot \frac{0,9486}{0,6203} - 84,35 - 7,85 \cdot 0,3617 = 63,2 \text{ м}.$$

Произведем расчет левоповоротного съезда, соответствующего углу  $\alpha' = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 76^\circ 40' = 103^\circ 20'$ .

Определяем центральный угол круговой кривой:

$$\varphi' = 180^\circ + \alpha' - 2\beta = 180^\circ + 103^\circ 20' - 2 \cdot 19^\circ 53' = 243^\circ 34'.$$

Тогда длина круговой кривой определяется по формуле (1.5):

$$L_0 = \frac{3,14 \cdot 90}{180} \cdot 243,57 = 382,4 \text{ м}.$$

Вычисляем полную длину левоповоротного съезда в плане по формуле (1.7):

$$L_{nl} = 382,4 + 2 \cdot 85,0 = 552,4 \text{ м},$$

а затем длину по формуле (1.19):

$$L'_{nl} = L_0 + 2l_c = 552,4 + 2 \cdot 66,0 = 420,4 \text{ м}.$$



Получили  $L'_{nl} > L_{np}$  (420,4 м > 225,0 м). Следовательно, длина левоповоротного съезда в плане позволяет уменьшить максимальный продольный уклон  $i_{\max}$  на нем и увеличить радиусы вертикальных кривых  $R_{вып}$  и  $R_{вог}$ .

Принимаем  $i_{\max} = 25 \text{ ‰}$ ,  $R_{вып} = 5000$  м и  $R_{вог} = 1500$  м. Тогда по формуле (1.20) получаем  $L_{np} = 419,3$  м  $\approx L'_{nl} = 420,4$  м.

Далее находим

$$\eta' = 90^\circ + \beta - \alpha'/2 = 90^\circ + 19^\circ 53' - 103^\circ 20'/2 = 58^\circ 13';$$

$$\sin \eta' = \sin 58^\circ 13' = 0,8501; \quad \sin \alpha'/2 = \sin 103^\circ 20'/2 = \sin 51^\circ 40' = 0,7844.$$

Определяем по формуле (1.4) расстояние  $A_1B_1 = A_1E_1$ :

$$A_1B_1 = A_1E_1 = \left( 90 + \frac{7,85}{0,9404} \right) \cdot \frac{0,8501}{0,7844} - 84,35 - 7,85 \cdot 0,3617 = 19,4 \text{ м.}$$

Произведем расчет правоповоротного съезда, соответствующего углу  $\alpha = 76^\circ 40'$ .

Определяем по формуле (1.1) радиус горизонтальной кривой  $R_1$ . Принимаем коэффициент поперечной силы  $\mu$  равным 0,15.

$$R_1 = \frac{22,2^2}{9,81 \cdot (0,15 + 0,04)} = 264,4 \text{ м.}$$

Принимаем  $R_1 = 270$  м.

Определяем длину переходной кривой  $L_1$  по формуле (1.8):

$$L_1 = \frac{V}{R_1 \cdot J} = \frac{22,2^3}{270 \cdot 0,35} = 115,8 \text{ м.}$$

Принимаем  $L_1 = 115$  м. Параметр  $C = R_1L_1 = 270 \cdot 115 = 31050 \text{ м}^2$ . Длина совмещенного участка  $l_c = 89$  м (см. таблицу 1.2).

При скорости  $V = 80$  км/ч минимальная ширина проезжей части однопутного съезда  $b_1 = 3,75$  м (см. таблицу 1.1). Ширину проезжей части на правоповоротных съездах транспортных развязок принимаем  $b_1 = 5,0$  м [1]. Вычисляем длину отгона виража  $l_o$  по формуле (1.21):

$$l_o = \frac{5,0 \cdot (0,04 - 0,02)}{0,005} = 20,0 \text{ м.}$$

Сумма длин  $l_c + l_o = 89 + 20 = 109$  м. Следовательно,  $L_1 > l_c + l_o$  (115 м > 109 м).

Определяем по формуле (1.9) угол поворота переходной кривой  $\beta_1$ :

$$\beta_1 = 57,3 \cdot \frac{115}{2 \cdot 270} = 12,20^\circ = 12^\circ 12'.$$



Вычисляем координаты конца переходной кривой:

$$X_c = L_1 - \frac{L_1^5}{40 \cdot C_1^2} = 115 - \frac{115^5}{40 \cdot 31050^2} = 114,48 \text{ м}; \quad (1.25)$$

$$Y_c = \frac{L_1^3}{6 \cdot C_1} - \frac{L_1^7}{336 \cdot C_1^3} = \frac{115^3}{6 \cdot 31050} - \frac{115^7}{40 \cdot 31050^3} = 8,13 \text{ м}. \quad (1.26)$$

Расстояние  $FG$  между осями право- и левоповоротного съездов по биссектрисе угла  $\alpha$  должно обеспечить возможность размещения земляного полотна обоих съездов с учетом их откосов и запасного расстояния  $c$  (обычно принимают  $c = 1$  м) между подошвами откосов (рисунки 1.4 и 1.5).

$$FG = \frac{b_1}{2} + a + m_1 h_1 + c + m'_1 h'_1 + a'_1 + \frac{b'_1}{2}, \quad (1.27)$$

где  $b_1$  и  $b'_1$  – ширина проезжей части левоповоротного съезда в точке  $F$  с учетом ее уширения на кривой и правоповоротного съезда в точке  $G$ , м;

$a$  и  $a'_1$  – ширина правой обочины левоповоротного съезда и левой обочины правоповоротного съезда, м;

$h_1$  и  $h'_1$  – рабочая отметка земляного полотна левоповоротного съезда в точке  $F$  и правоповоротного съезда в точке  $G$ , м;

$m_1$  и  $m'_1$  – коэффициенты заложения откосов земляного полотна лево- и правоповоротного съездов, м.

Предварительно установим значения всех величин, входящих в это выражение.

*Левоповоротный съезд.*

Расчетная скорость на круговой кривой левоповоротного съезда равна 50 км/ч. При этой скорости минимальная ширина проезжей части однопутного съезда на прямолинейном участке  $b_1 = 3,50$  м (см. таблицу 1.1). В точке  $F$  (см. рисунок 1.4) съезд имеет криволинейное очертание, поэтому необходимо произвести уширение проезжей части по величине  $e_1$ :

$$e_1 = \frac{l^2}{2 \cdot R + b_1} + \frac{0,05 \cdot V}{\sqrt{R}} = \frac{6^2}{2 \cdot 90 + 3,5} + \frac{0,05 \cdot 50}{\sqrt{90}} = 0,2 + 0,26 = 0,46 \approx 0,5 \text{ м}, \quad (1.28)$$

где  $l$  – база автомобиля, принимаем  $l = 6$  м;

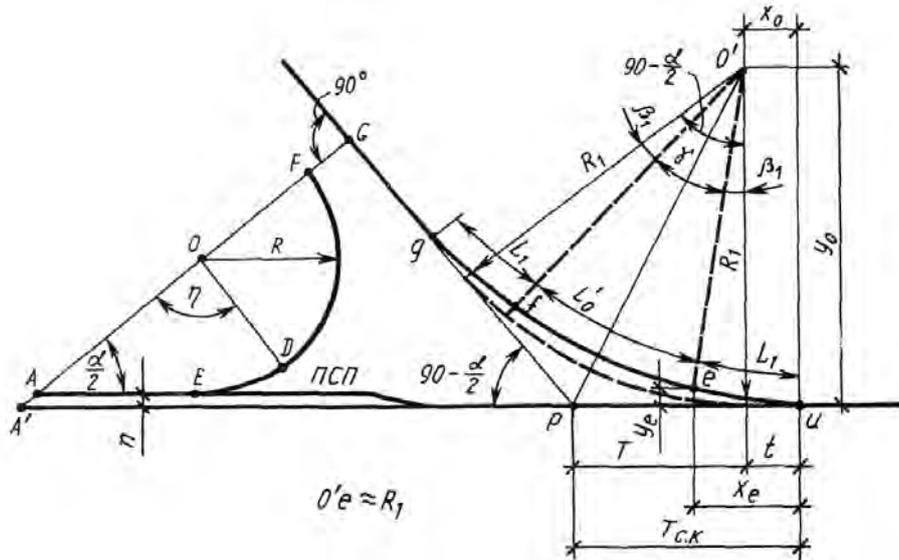
$V$  – расчетная скорость, км/ч.

Тогда полная ширина проезжей части левоповоротного съезда в точке  $F$   $b_{1(y)} = b_1 + e_1 = 3,5 + 0,50 = 4,0$  м.

Полученное значение  $b_{1(y)}$  не превышает рекомендуемую ширину проезжей части на левоповоротных съездах [1], равную 5,5 м, поэтому назначаем

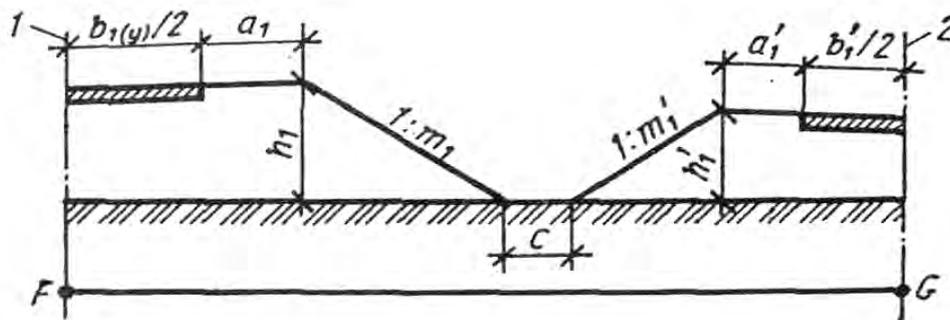


$b_{1(y)} = 5,5$  м. Ширину обочины с внешней стороны закругления (т. е. правой обочины) принимаем  $a_1 = 3,0$  м [1].



$R_1$  – радиус круговой кривой;  $O'$  – центр круговой кривой;  $X_0$  и  $Y_0$  – координаты центра круговой кривой;  $\gamma$  – центральный угол круговой кривой;  $L_0'$  – длина круговой кривой;  $u$  – начало правоповоротного съезда (начало первой переходной кривой);  $e$  – конец первой переходной кривой и начало круговой кривой;  $f$  – конец круговой кривой и начало второй переходной кривой;  $g$  – конец второй переходной кривой;  $L_1$  – длина переходной кривой;  $\beta$  – угол поворота переходной кривой;  $x_e$  и  $y_e$  – координаты точки  $e$ ;  $T$  – тангенс круговой кривой;  $T_{с.к.}$  – тангенс составной кривой;  $t$  – дополнительный тангенс (расстояние от начала переходной кривой до начала круговой кривой)

Рисунок 1.4 – Расчетная схема правоповоротного съезда



1 – ось земляного полотна левоповоротного съезда; 2 – ось земляного полотна правоповоротного съезда

Рисунок 1.5 – Схема к определению расстояния  $FG$

Рабочую отметку земляного полотна левоповоротного съезда в точке  $F$  принимаем  $h_1 = 3,9$  м. Коэффициент заложения откоса земляного полотна назначаем  $m_1 = 1,5$ .

*Правоповоротный съезд.*

Расчетная скорость на правоповоротном съезде равна 80 км/ч. При этой скорости минимальная ширина проезжей части однопутного съезда на прямо-

линейном участке (в точке  $G$  правоповоротный съезд имеет прямолинейное очертание)  $b'_1 = 3,75$  м (см. таблицу 1.1). В соответствии с рекомендациями ТКП 45-3.03-19–2006 (02250) увеличиваем эту ширину до 5,0 м. Ширину левой обочины  $a'_1$  принимаем равной 1,5 м.

Рабочую отметку земляного полотна правоповоротного съезда в точке  $G$  принимаем  $h'_1 = 2,1$  м. Коэффициент заложения откоса земляного полотна назначаем  $m'_1 = m_1 = 1,5$ .

Расстояние между подошвами откосов насыпей принимаем  $c = 1,0$  м.

Тогда расстояние

$$FG = \frac{5,5}{2} + 3,0 + 1,5 \cdot 3,9 + 1,0 + 1,5 \cdot 2,1 + 1,5 + \frac{5,0}{2} = 19,8 \text{ м.}$$

Вычисляем расстояние  $n$  (см. рисунок 1.4) между осями переходно-скоростной полосы и внешней полосы движения дороги:

$$n = \Pi + s, \quad (1.29)$$

где  $\Pi$  – ширина одной полосы движения и переходно-скоростной полосы,  $\Pi = 3,75$  м [1];

$s$  – ширина разделительной полосы,  $s = 0,75$  м [1].

$$n = 3,75 + 0,75 = 4,5 \text{ м.}$$

Находим расстояние  $A'A$  (см. рисунок 1.4):

$$A'A = \frac{n}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{4,5}{\sin \frac{76,67}{2}} = 7,2 \text{ м.} \quad (1.30)$$

Определяем расстояние  $AO$ :

$$AO = \frac{R \cdot \cos \beta + Y_c}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{90 \cdot \cos 19,88 + 7,85}{\sin \frac{76,67}{2}} = 149,1 \text{ м.} \quad (1.31)$$

Тогда расстояние

$$A'G = A'A + AO + R + FG = 7,2 + 149,1 + 90 + 19,8 = 266,1 \text{ м.}$$

Вычисляем расстояние:

$$A'P = \frac{A'G}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{266,1}{\cos \frac{76^\circ 40'}{2}} = 339,2 \text{ м.} \quad (1.32)$$



Тогда расстояние

$$GP = A'P \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = 339,2 \cdot \sin \frac{76^\circ 40'}{2} = 210,4 \text{ м.} \quad (1.33)$$

Определяем центральный угол:

$$\gamma = 90 - \frac{\alpha}{2} - 2 \cdot \beta_1 = 90^\circ - 38^\circ 20' - 2 \cdot 12^\circ 12' = 27^\circ 16'.$$

Вычисляем длину круговой кривой по формуле (1.5):

$$L'_0 = \frac{3,14 \cdot 270}{180} \cdot 27,27 = 128,4 \text{ м.}$$

Тогда длина составной кривой

$$l_{c-k} = L'_0 + 2 \cdot L_1 = 128,4 + 2 \cdot 115 = 358,4 \text{ м.} \quad (1.34)$$

Находим тангенс круговой кривой для угла поворота  $90^\circ - \frac{\alpha}{2} = 90^\circ - \frac{76^\circ 40'}{2} = 51^\circ 40'$ :

$$T = R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \frac{\alpha}{2}}{2} = 270 \cdot \operatorname{tg} \frac{51^\circ 40'}{2} = 130,7 \text{ м.} \quad (1.35)$$

Вычисляем дополнительный тангенс:

$$t = X_e - R_1 \cdot \sin \beta_1 = 114,48 - 270 \cdot \sin 12^\circ 12' = 57,4 \text{ м.} \quad (1.36)$$

Тогда тангенс составной кривой

$$T_{c-k} = T + t = 130,7 + 57,4 = 188,1 \text{ м.} \quad (1.37)$$

Определяем расстояние  $A'u$ :

$$A'u = A'P + T_{c-k} = 339,2 + 188,1 = 527,3 \text{ м.} \quad (1.38)$$

Вычисляем полную длину правоповоротного съезда:

$$L_{\text{прав}} = 2 \cdot (GP - T_{c-k} - l_{c-k}) = 2 \cdot (210,4 - 188,1 + 358,4) = 761,4 \text{ м.} \quad (1.39)$$

Произведем расчет правоповоротного съезда, соответствующего углу  $a' = 103^\circ 20'$ .



Находим расстояние по формуле (1.30):

$$A_1'A_1 = \frac{4,5}{\sin \frac{103^\circ 20'}{2}} = 5,7 \text{ м.}$$

Определяем расстояние по формуле (1.31):

$$A_1O_1 = \frac{90 \cdot \cos 19^\circ 53' + 7,85}{\sin \frac{103^\circ 20'}{2}} = 117,9 \text{ м.}$$

Вычисляем расстояние  $F_1G_1$  по формуле (1.27). Рабочую отметку земляного полотна левоповоротного съезда в точке  $F_1$  принимаем  $h_1 = 3,5$  м. Рабочую отметку земляного полотна правоповоротного съезда в точке  $G$  принимаем  $h'_1 = 1,6$  м.

$$F_1G_1 = 5,5/2 + 3,0 + 1,5 \cdot 3,5 + 1,0 + 1,5 \cdot 1,6 + 1,5 + 5,0/2 = 18,4 \text{ м.}$$

Определяем расстояние  $A_1'G_1$ :

$$A_1'G_1 = A_1'A_1 + A_1O_1 + R + F_1G_1 = 5,7 + 117,9 + 90 + 18,4 = 232,0 \text{ м.}$$

Расстояние  $A_1'P_1$  определяем по формуле (1.32):

$$A_1'P_1 = \frac{232,0}{\cos \frac{103^\circ 20'}{2}} = 374,1 \text{ м.}$$

Тогда расстояние по формуле (1.33)

$$G_1P_1 = 374,1 \cdot \sin \frac{103^\circ 20'}{2} = 293,4 \text{ м.}$$

Определяем центральный угол:

$$\gamma = 90 - \frac{\alpha'}{2} - 2 \cdot \beta_1 = 90^\circ - 51^\circ 40' - 2 \cdot 12^\circ 12' = 13^\circ 56'.$$

Вычисляем длину круговой кривой по формуле (1.5):

$$L_0 = \frac{3,14 \cdot 270}{180} \cdot 13,93 = 65,6 \text{ м.}$$

Тогда длина составной кривой определяется по формуле (1.7):

$$L_{c-\kappa} = 65,6 + 2 \cdot 115 = 295,6 \text{ м.}$$



По формуле (1.35) находим тангенс круговой кривой для угла поворота  $90^\circ - a'/2 = 90^\circ - 51^\circ 40' = 38^\circ 20'$ :

$$T = R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ - \frac{\alpha}{2}}{2} = 270 \cdot \operatorname{tg} \frac{38^\circ 20'}{2} = 93,8 \text{ м.}$$

Определяем тангенс составной кривой по формуле (1.37):

$$T_{c-k} = T + t = 93,8 + 57,4 = 151,2 \text{ м.}$$

Вычисляем расстояние по формуле (1.38):

$$A'_1 u_1 = 374,1 + 151,2 = 525,3 \text{ м.}$$

Находим полную длину правоповоротного съезда по формуле (1.39):

$$L'_{\text{прав}} = 2 \cdot (293,4 - 151,2 + 195,6) = 875,6 \text{ м.}$$

### Задание

Расчитать элементы пересечения автомобильных дорог II категории по типу клеверного листа по следующим исходным данным: угол пересечения  $\alpha$ ; расчетная скорость на левоповоротных съездах переменная:  $V_{np} = 60$  км/ч (16,7 м/с) и  $V_{кр} = 50$  км/ч (13,9 м/с); расчетная скорость на правоповоротных съездах постоянная:  $V = 80$  км/ч (22,2 м/с); коэффициент полного сцепления  $\varphi = 0,60$ ; разность отметок бровок земляного полотна дорог в месте их пересечения  $H$ ; поперечный уклон проезжей части пересекающихся дорог  $i_n = 20$  ‰; коэффициент продольного сцепления  $\varphi_1 = 0,8 \cdot \varphi = 0,8 \cdot 0,60 = 0,48$ ; продольные уклоны дорог в пределах транспортной развязки:  $i_1 = i_2$ . На левоповоротных съездах: максимальный продольный уклон  $i_{\max}$ ; уклон виража; продольный уклон отгона виража  $i_o = 6$  ‰; ускорение автомобиля в пределах переходной кривой  $a$ . На правоповоротных съездах: поперечный уклон проезжей части на прямолинейном участке  $i_n = 20$  ‰; уклон виража  $i_6$ ; степень нарастания центростремительного ускорения  $j$ .

Исходные данные представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные

Вариант	$H$ , м	$i_b$ , ‰	$i_1 = i_2$ , ‰	$j$ , м/с <sup>3</sup>	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$i_{\max}$ , ‰	$\alpha$
1–4	5	4	11	0,3	0,4	36	75°40'
5–7	6	5	12	0,35	0,5	37	77°20'
8–10	7	6	13	0,4	0,6	38	79°50'
11–13	5	6	14	0,4	0,6	39	81°10'
14–16	6	4	11	0,3	0,4	36	83°30'
17–20	7	5	12	0,35	0,5	38	85°40'

## 2 Практическое занятие № 2. Составление схемы обстановки дороги на транспортной развязке «Клеверный лист»

На транспортной развязке «Клеверный лист» левоповоротные и правоповоротные соединительные ответвления имеют участки разветвления и слияния потоков автомобильного транспорта. Точки пересечения потоков отсутствуют.

### 2.1 Расстановка дорожных знаков в зоне разветвления потоков

В зоне разветвления правоповоротных потоков (ППО) необходимо дать информацию о направлении движения на транспортной развязке и за ее пределами. Для этого перед транспортной развязкой устанавливают дорожный знак 5.20.1 «Предварительный указатель направлений» на расстоянии не менее 300 м от начала отгона полосы торможения (рисунок 2.1) или начала правоповоротного соединительного ответвления, если полоса торможения отсутствует (дороги IV, V категорий). На дороге I-а категории знак 5.20.1 устанавливается также предварительно за 2...3 км до транспортной развязки.

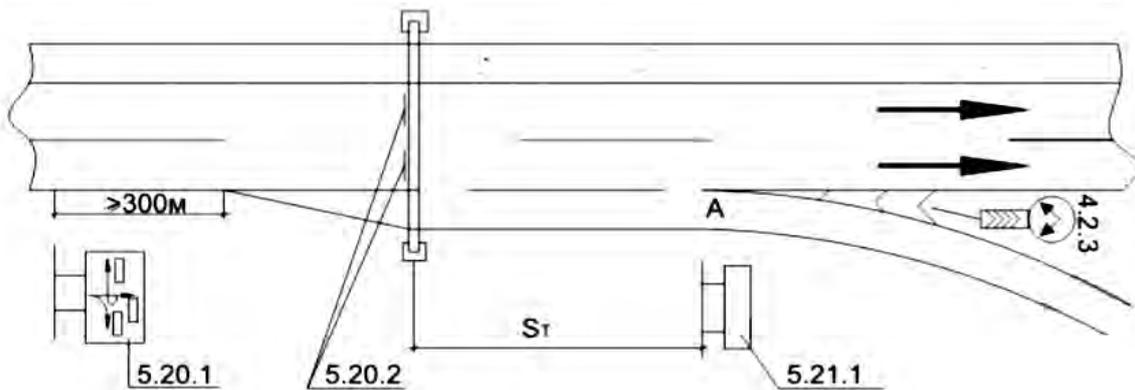


Рисунок 2.1 – Схема расстановки дорожных знаков на дороге I категории в зоне разветвления потоков (ППО)

На дорогах I категории в начале полосы торможения над дорогой устанавливают дорожный знак 5.20.2 «Предварительный указатель направлений» (см. рисунок 2.1).

На двухполосных дорогах II, III категорий дорожный знак 5.20.2 не устанавливается. Взамен его устанавливают знаки 5.8.3 «Начало полосы справа» и 5.8.1 «Направление движения по полосам» (рисунок 2.2). На дорогах IV категории полосы торможения и разгона не предусматривают. Поэтому и знаки 5.8.3 и 5.8.1 не устанавливают.

В начале правоповоротного и левоповоротного соединительного ответвления (в сечении, проходящем через точку A, см. рисунки 2.1 и 2.2) необходимо установить дорожный знак 5.21.1 «Указатель направлений».

После разделения бровок обочин основной дороги и соединительного ответвления устанавливают дорожный знак 4.2.3 «Объезд препятствия справа или слева» (см. рисунки 2.1 и 2.2). В зоне разветвления левоповоротного соедини-

тельного ответвления на дорогах I, II, III категорий устанавливают знаки 5.8.3 в начале отгона полосы торможения, знак 5.8.1 перед концом полосы торможения (см. рисунок 2.2), 5.21.1 в начале левоповоротного ответвления (ЛПО) и 4.2.3. В случае окончания ППО или ЛПО на дороге I-а категории в начале ППО или ЛПО устанавливают знак 5.3 «Дорога для автомобилей».

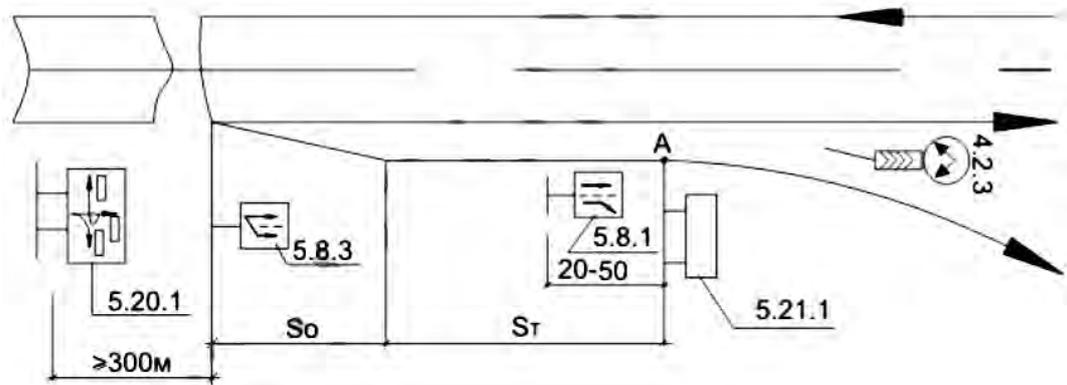


Рисунок 2.2 – Схема расстановки дорожных знаков на дорогах II и III категорий в зоне разветвления потоков (ППО)

## 2.2 Расстановка дорожных знаков в зоне слияния потоков

В зоне слияния потоков (ЛПО, ППО) необходимо обеспечить преимущественное право проезда транспорта по прямому направлению основной дороги, на которой заканчивается ЛПО или ППО. Для этого на соединительном ответвлении до начала полосы разгона, а при ее отсутствии в конце соединительного ответвления устанавливают знак 2.4 «Уступить дорогу». На одной стойке со знаком 2.4 размещают дорожный знак 4.1.1 «Движение только прямо», если касательная к кривой в точке  $K'$  менее  $30^\circ$ , или знак 4.1.2 «Движение только направо», если он более  $30^\circ$ . Если ППО или ЛПО заканчивались на дороге I категории, то вместо знака 4.1.1 или 4.1.2 устанавливают знак 5.7.1 «Выезд на дорогу с односторонним движением» (рисунок 2.3).

Если соединительное ответвление заканчивается полосой разгона, то в ее конце устанавливают знак 5.8.5 «Конец полосы» (см. рисунок 2.3).

На дороге, на которой заканчивается соединительное ответвление, устанавливают знак 4.1 «Движение только прямо». На дорогах, не имеющих разделительной полосы, на противоположной стороне знака 4.1.1 устанавливают дорожный знак 3.1 «Въезд запрещен». Он предназначен для водителей, движущихся по встречной полосе движения. С целью обеспечения маршрутного ориентирования после окончания транспортной развязки устанавливают дорожный знак 5.27 «Указатель расстояний» и знак 5.29.1 «Номер маршрута». Окончанием транспортной развязки по направлению дороги  $AB$  является положение конца отгона полосы разгона ППО или конца ППО при отсутствии полосы разгона.

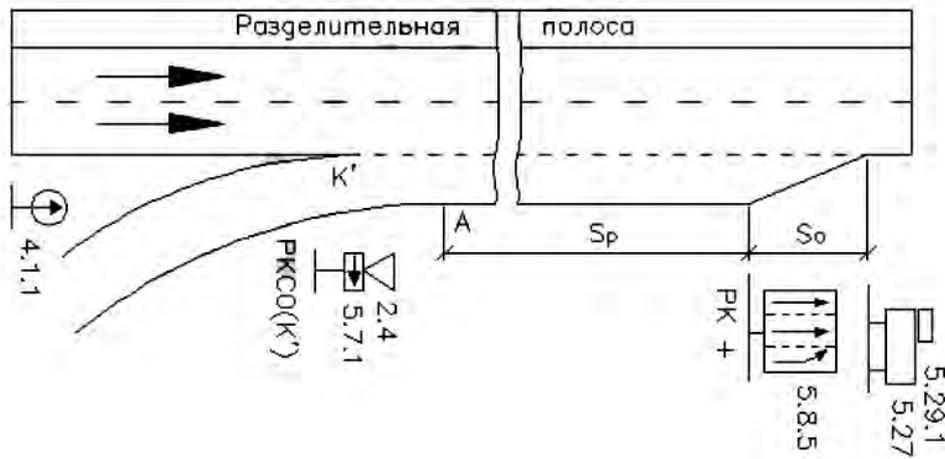


Рисунок 2.3 – Расстановка дорожных знаков в зоне слияния потоков

### Задание

Составить график дислокации дорожных знаков на транспортной развязке «Клеверный лист».

## 3 Практическая работа № 3. Проектирование примыкания в двух уровнях по типу «Труба»

Рассмотрим расчет элементов примыкания в двух уровнях по типу трубы. На рисунке 3.1 изображены левоповоротные съезды примыкания. Правоповоротные съезды на этой транспортной развязке, в отличие от пересечения по типу клеверного листа, проектируют независимо от левоповоротных. Их целесообразно описывать по дуге окружности без прямой вставки. При этом длина каждого правоповоротного съезда равна длине соответствующей составной кривой.

Расстояния от точки  $A_2$  пересечения осей полос движения, проходящих к транспортной развязке дорог, до начала и конца правоповоротного съезда, ведущего с основной дороги на примыкающую, определяют по формуле

$$A_2M = A_2M_1 = T_{C.K.}, \quad (3.1)$$

где  $T_{C.K.}$  – тангенс составной кривой, соответствующий углу поворота  $\alpha' = 180^\circ - \alpha$ .

Расстояния от точки  $A_3$  пересечения осей полос движения, переходящих к транспортной развязке дорог до начала и конца правоповоротного съезда, ведущего с примыкающей дороги на основную, определяют по формуле

$$A_3N = A_3N_1 = T'_{C.K.}, \quad (3.2)$$

где  $T'_{C.K.}$  – тангенс составной кривой, соответствующий углу поворота  $\alpha$ .

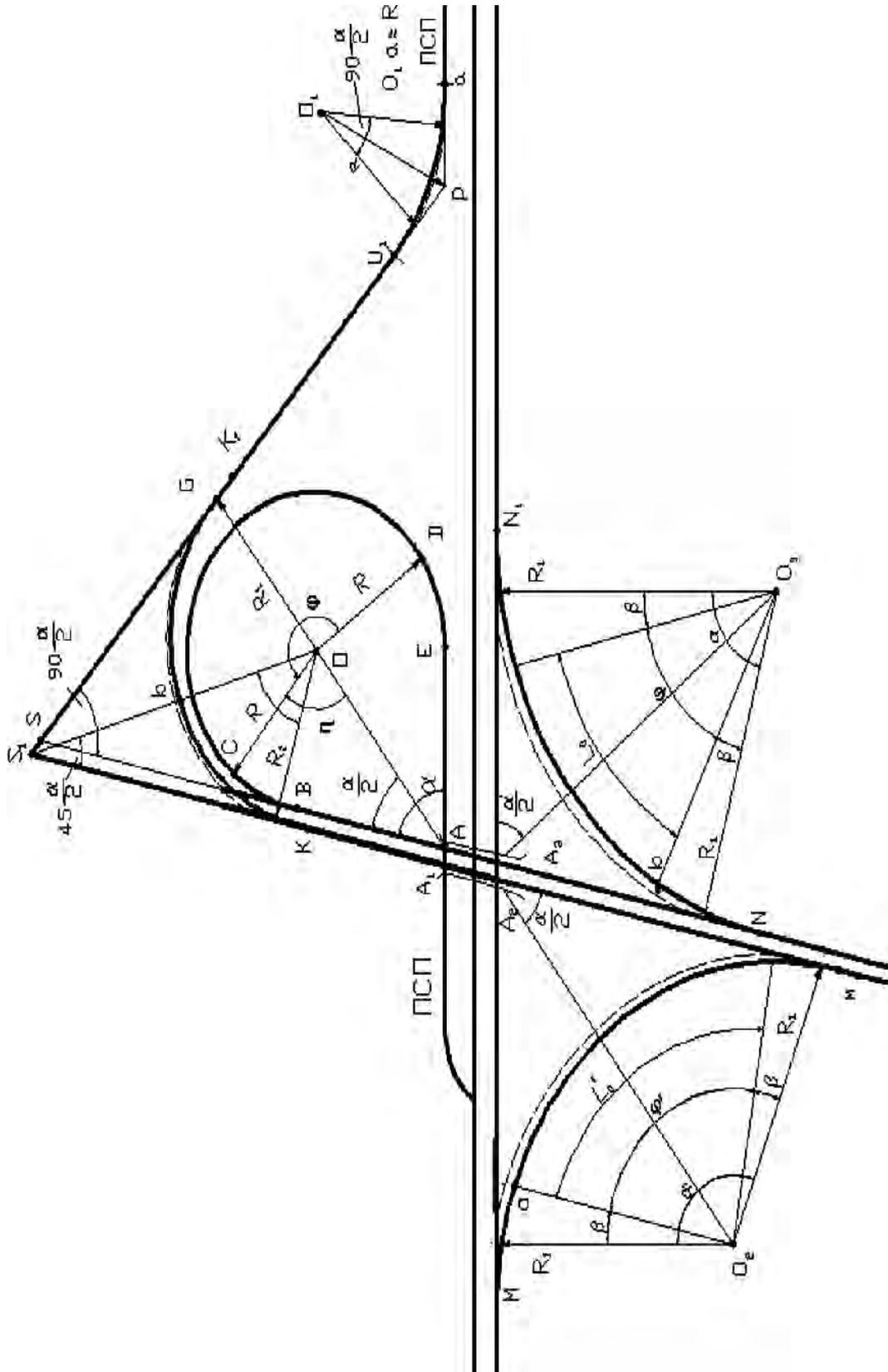


Рисунок 3.1 – Левоворотные съезды примыкания по типу «Груба»

Наибольшую сложность представляет расчет другого левоповоротного съезда, который огибает съезд, имеющий форму лепестка клевера. На рисунке 3.1 это съезд, ведущий с основной дороги на примыкающую.

Расчет указанного съезда включает в себя определение длины отрезков  $A_1K$  и  $K_1U_1$ , расчет двух составных кривых с углами поворота  $(90^\circ - \alpha/2)$  и  $(90^\circ + \alpha/2)$  и нахождение расстояния  $A_1U$  от точки пересечения осей переходно-скоростной полосы движения примыкающей дороги  $A_1$  до начала левоповоротного съезда (до точки  $U$ ). В отличие от левоповоротного съезда, имеющего форму лепестка клевера, данный съезд рассчитывают на постоянную скорость.

Оба левоповоротных съезда на значительном протяжении имеют общее земляное полотно и представляют собой двухпутный съезд.

Радиус горизонтальной кривой  $R$  подсчитывают по формуле (1.1) в зависимости от расчетной скорости  $V$  и уклона  $i_\theta$ .

Радиус горизонтальной кривой

$$R_1 = R + d; \quad d = \frac{b_{2(y)}}{2}, \quad (3.3)$$

где  $d$  – расстояние между осями полос движения двухпутного съезда на круговой кривой, м;

$b_{2(y)}$  – ширина проезжей части двухпутного съезда с учетом уширения ее на кривой, м.

Из рисунка 3.1 видно, что расстояние  $AG = AO + OG = AO + R_1$ .

Длину отрезка  $AO$  находят по формуле

$$AO = \frac{R \cdot \cos\beta + y_c}{\sin\alpha/2}. \quad (3.4)$$

Расстояние  $AP = AS = \frac{AG}{\cos\alpha/2}$ , а расстояние  $GP = GS = AG \cdot \operatorname{tg}\alpha/2 = AP \cdot \sin\alpha/2$ .

Отрезок

$$A_1A = \frac{n}{\sin\alpha},$$

где  $n$  – расстояние между осями полос движения примыкающей дороги (см. рисунок 3.1),  $n = b/2$  ( $b$  – ширина проезжей части примыкающей дороги).

Тогда расстояние

$$A_1U = A_1 + AP + PU = A_1A + AP + T_{C.K.}, \quad (3.5)$$

где  $T_{C.K.}$  – тангенс составной кривой с углом поворота  $(90^\circ - \alpha/2)$ .

Как видно из рисунка 3.1, расстояние

$$A_1S_1 = AS + n \cdot \operatorname{ctg}\alpha + n \cdot \operatorname{tg}\alpha/2 = AS + n \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{tg}\alpha/2).$$



Тогда отрезок

$$A_1K = A_1S_1 - KS_1 = A_1S_1 - T'_{C.K.}, \quad (3.6)$$

где  $T'_{C.K.}$  – тангенс составной кривой с углом поворота  $(90^\circ + \alpha/2)$ ,

$$T'_{C.K.} = T' + t = R' \cdot \operatorname{tg} \alpha/2 + (x - R \cdot \sin \beta).$$

Отрезок  $SS_1 = n/(\cos \alpha/2)$ .

Тогда

$$K_1U_1 = GP + GS + SS_1 - S_1K_1 - U_1P = 2GP + SS_1 - T'_{C.K.} - T_{C.K.}. \quad (3.7)$$

Длина пути, проходимого автомобилями, которые сворачивают влево с основной дороги на примыкающую дорогу,

$$S_{лев} = A_1K + l'_{C.K.} + K_1U_1 + l_{C.K.}, \quad (3.8)$$

где  $l'_{C.K.}$  – длина составной кривой с углом поворота  $(90^\circ + \alpha/2)$ , м;

$l_{C.K.}$  – длина составной кривой с углом поворота  $(90^\circ - \alpha/2)$ , м.

Длина однопутного участка левоповоротного съезда, ведущего с основной дороги на примыкающую,

$$L_{лев.(одн)} = GP - U_1 + l_{C.K.} = GP - T_{C.K.} + l_{C.K.}. \quad (3.9)$$

Длина однопутного участка левоповоротного съезда, ведущего с примыкающей дороги на основную,

$$L'_{лев.(одн)} = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \frac{\varphi}{2} + L, \quad (3.10)$$

где  $L$  – длина переходной кривой,  $L = ED$ .

Длина двухпутного съезда

$$L'_{лев.(дв)} = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{R + R_1}{2} \cdot \frac{\varphi}{2} + AB + L, \quad (3.11)$$

где  $L$  – длина переходной кривой,  $L = BC$ .

**Пример** – Рассчитать элементы левоповоротных съездов на примыкании по типу «Труба» дороги II категории к дороге II категории по следующим исходным данным: угол примыкания  $\alpha = 72^\circ 48'$ ; расчетная скорость на левоповоротном съезде, ведущем с примыкающей дороги на основную, переменная:  $V_{np} = 60$  км/ч (16,7 м/с) и  $V_{кр} = 50$  км/ч (13,9 м/с); расчетная скорость на левоповоротном съезде, ведущем с основной дороги на примыкающую, постоянная:  $V = 50$  км/ч (13,9 м/с); коэффициенты сцепления  $\varphi = 0,60$ ,  $\varphi_1 = 0,48$ ; разность отметок бровок земляного полотна дорог в местах их пересечения  $H = 6,4$  м;



поперечный уклон проезжей части дороги  $i_n = 15 \text{ ‰}$ ; максимальный продольный уклон на съездах  $i_{\max} = 30 \text{ ‰}$ ; продольный уклон основной дороги в пределах транспортной развязки  $i_2 = 14 \text{ ‰}$ ; уклон виража  $i_g = 40 \text{ ‰}$ ; продольный уклон отгона виража  $i_o = 8 \text{ ‰}$ ; ускорение автомобиля в пределах переходной кривой  $a = 0,47 \text{ м/с}^2$ ; степень нарастания центробежного ускорения  $j = 0,34 \text{ м/с}^3$ .

### Решение

Левоповоротный съезд, ведущий с примыкающей дороги на основную, рассчитываем при скоростях  $V_{np} = 60 \text{ км/ч}$ ,  $V_{кр} = 50 \text{ км/ч}$  и ускорении  $a = 0,47 \text{ м/с}^2$ . Тогда длина переходной кривой [2]

$$L = \frac{V_{np}^2 - V_{кр}^2}{2a} = \frac{16,7^2 - 13,9^2}{2 \cdot 0,47} \approx 90 \text{ м.} \quad (3.12)$$

Длину совмещенного участка выбираем согласно таблице 1.3. В данном случае  $l_c = 67 \text{ м}$ .

Длина отгона виража

$$l_o = \frac{b_1 \cdot (i_g - i_n)}{i_o} = \frac{5,5 \cdot (0,04 - 0,015)}{0,08} = 17,2 \approx 18 \text{ м.} \quad (3.14)$$

Сумма длин  $l_c + l_o = 67 + 18 = 85 \text{ м}$ .

Следовательно,  $L > l_c + l_o$  ( $90 > 85 \text{ м}$ ).

Угол поворота переходной кривой находят по формуле (1.14)

$$\beta = 57,3 \cdot \left[ \frac{0,47}{(16,7 - 13,9) \cdot 16,7^3} \cdot 90^2 + \frac{5 \cdot 0,47^2}{3 \cdot (16,7 - 13,9) \cdot 16,7^5} \cdot 90^3 \right] = 20^\circ 58'.$$

Координаты конца переходной кривой

$$X_C = L - \frac{a^2}{10 \cdot (V_{np} - V_{кр})^2 \cdot V_{np}^6} \cdot L^5 = 90 - \frac{0,47^2}{10 \cdot (16,7 - 13,9)^2 \cdot 16,7^6} \cdot 90^5 = 89,23 \text{ м;} \quad (3.14)$$

$$Y_C = \frac{a}{3 \cdot (V_{np} - V_{кр}) \cdot V_{np}^3} \cdot L^3 = \frac{0,47}{3 \cdot (16,7 - 13,9) \cdot 16,7^3} \cdot 90^3 = 8,76 \text{ м.} \quad (3.15)$$

Центральный угол круговой кривой

$$\varphi = 180^\circ + \alpha - 2\beta = 180^\circ + 72^\circ 48' - 2 \cdot 20^\circ 58' = 210^\circ 52'. \quad (3.16)$$

При скорости  $V = 50 \text{ км/ч}$  и уклоне виража  $i_g = 40 \text{ ‰}$  радиус горизонтальной кривой  $R = 100 \text{ м}$ .

Тогда длина круговой кривой  $L_0 = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \varphi = 367,8 \text{ м}$ .



Угол

$$\eta = 180^\circ - \alpha/2 - (90^\circ - \beta) = 90^\circ + \beta - \alpha/2;$$

$$\eta = 90^\circ + 20^\circ 58' - 72^\circ 48'/2 = 74^\circ 34'.$$

Расстояние

$$AB = \left( R + \frac{Y_C}{\cos\beta} \right) \cdot \frac{\sin\eta}{\sin\alpha/2} - X_C - Y_C \cdot \operatorname{tg}\beta; \quad (3.17)$$

$$AB = \left( 100 + \frac{8,76}{\cos 20^\circ 58'} \right) \cdot \frac{\sin 74^\circ 34'}{\sin 72^\circ 48'/2} - 89,23 - 8,76 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ 58' = 85,1 \text{ м.}$$

Длины левоповоротного съезда в плане

$$L_{\text{ПЛ}} = L_0 + 2L + AB = 367,8 + 2 \cdot 90 + 85,1 = 632,9 \text{ м;}$$

$$L'_{\text{ПЛ}} = L_{\text{ПЛ}} - l_C = 632,9 - 67,0 = 565,9 \text{ м.}$$

Так как на левоповоротном съезде вертикальные кривые совпадают с горизонтальной, то при определении радиуса выпуклой вертикальной кривой  $R_{\text{вып}}$  расчетное расстояние видимости в продольном профиле  $S$  определяем по формуле (1.23)

$$S = 16,7 \cdot (0,8 + 2) + 2,0 \cdot \frac{16,7^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (0,48 + 0,02)} + 5 = 58,3 \text{ м.}$$

Принимаем  $S = 60$  м.

Рассчитываем радиус выпуклой вертикальной кривой (при  $h = 1,2$  м):

$$R_{\text{вып}} = \frac{S^2}{2h} = \frac{60^2}{2 \cdot 1,2} = 1500 \text{ м.} \quad (3.18)$$

Для установки радиуса вогнутой вертикальной кривой  $R_{\text{вог}}$  предварительно находим расчетное расстояние видимости в продольном профиле (при  $\varphi = 0,60$ ):

$$S = 16,7 \cdot (0,8 + 2) + 2,0 \cdot \frac{16,7^2}{2 \cdot 9,81 \cdot (0,6 + 0,02)} + 5 = 13,9 + 31,8 + 5 = 50,7 \text{ м.}$$

Принимаем  $S = 50$  м.

Определяем радиус вогнутой вертикальной кривой (при  $h_\varphi = 0,7$  м и  $\alpha = 4^\circ$ ):

$$R_{\text{вог}} = \frac{S^2}{2 \cdot (h_\varphi + S \cdot \sin \alpha/2)} = \frac{50^2}{2 \cdot (0,7 + 50 \cdot 0,0349)} = 511 \text{ м.} \quad (3.19)$$



Принимаем  $R_{\text{вог}} = 500$  м.

Тогда длина в продольном профиле

$$L_{np} = \frac{6,4}{0,03} + \frac{1500}{2 \cdot 0,03} \cdot (0,01 + 0,03)^2 + \frac{500}{2 \cdot 0,03} \cdot (0,01 + 0,03)^2 = 322,7 \text{ м.}$$

Получили  $L'_{nl} > L_{np}$  ( $565,9 > 322,7$  м). Следовательно, длина съезда в плане позволяет уменьшить уклон  $i_{\text{max}}$  и увеличить радиусы  $R_{\text{вып}}$  и  $R_{\text{вог}}$ .

Принимаем  $i_{\text{max}} = 20$  ‰,  $R_{\text{вып}} = 5000$  м и  $R_{\text{вог}} = 1500$  м.

Тогда  $L_{np} = 563,4$  м  $\approx L'_{nl} = 565,9$  м.

Произведем расчет левоповоротного съезда, ведущего с основной дороги на примыкающую.

Сначала рассмотрим входной участок съезда, представляющий собой составную кривую с углом поворота ( $90^\circ - \alpha/2$ ).

Определяем длину переходной кривой:

$$L' = V^3 / (R \cdot J) = 13,9^3 / (100 \cdot 0,34) = 79,0 \text{ м.}$$

Принимаем  $L = 80$  м. Параметр клотоиды  $C = R \cdot L = 100 \cdot 8 = 8000$  м<sup>2</sup>.

Длина совмещенного участка  $l_c = 56$  м (см. таблицу 1.2).

Находим длину отгона виража  $l_o$ . При скорости  $v = 50$  км/ч минимальная ширина проезжей части однопутного съезда  $b_1 = 3,5$  м. В соответствии с [1] увеличиваем эту ширину до 5,5 м.

Тогда

$$l_o = \frac{b_1 \cdot (i_g - i_n)}{i_o} = \frac{5,5 \cdot (0,04 - 0,015)}{0,08} = 17,2 \text{ м.}$$

Принимаем  $l_o = 18$  м.

Сумма длин  $l_c + l_o = 56 + 18 = 74$  м.

Следовательно,  $L > l_c + l_o$  ( $80 > 74$  м).

Определяем угол поворота переходной кривой:

$$\beta = 57,3 \cdot \frac{L}{2R} = 57,3 \cdot \frac{80}{2 \cdot 100} = 22^\circ 55'. \quad (3.20)$$

Вычисляем координаты конца переходной кривой:

$$x = L - \frac{L^5}{40C^2} = 80 - \frac{80^5}{40 \cdot 8000^2} = 78,72 \text{ м,} \quad (3.21)$$

$$y = \frac{L^3}{6C} - \frac{L^5}{336C^3} = \frac{80^3}{6 \cdot 8000} - \frac{80}{336 \cdot 8000^3} = 10,55 \text{ м.} \quad (3.22)$$



Определяем центральный угол:

$$\gamma = 90^\circ - \alpha/2 - 2 \cdot \beta = 90^\circ - 72^\circ 48' / 2 - 2 \cdot 22^\circ 55' = 7^\circ 46'.$$

Подсчитываем длину круговой кривой:

$$L_0 = \frac{\pi \cdot R \cdot \gamma}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 7^\circ 46'}{180^\circ} = 13,6 \text{ м.} \quad (3.23)$$

Вычисляем длину составной кривой:

$$L_{C.K.} = L_0 + 2L = 13,6 + 280 = 173,6 \text{ м.}$$

Находим тангенс круговой кривой для угла поворота  $(90^\circ - \alpha/2)$ :

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} (90^\circ - \frac{\alpha}{2}) = R \cdot \operatorname{tg} \frac{53^\circ 36'}{2} = 100 \cdot 0,5051 = 50,5 \text{ м.}$$

Определяем дополнительный тангенс:

$$t = x - R \cdot \sin \beta = 78,72 - 100 \cdot \sin 22^\circ 55' = 39,8 \text{ м.}$$

Тогда тангенс составной кривой

$$T_{C.K.} = T + t = 50,5 + 39,8 = 90,3 \text{ м} = U_1 P = P U.$$

Рассчитаем выходной участок съезда, представляющий собой составную кривую с углом поворота  $(90^\circ + \alpha/2)$ .

При скорости  $V = 50$  км/ч ширина проезжей части на прямолинейном участке двухпутного съезда  $b_2 = 7,5$  м. На криволинейном участке съезда требуется произвести уширение проезжей части на величину  $e_2$ , которую находим по формуле

$$e_2 = \frac{l_2^2}{R} + \frac{0,36V}{\sqrt{R}} = \frac{6^2}{100} + \frac{0,36 \cdot 13,9}{\sqrt{100}} = 0,86 \text{ м,} \quad (3.24)$$

где  $l_2$  – база автомобиля,  $l_2 = 6$  м.

Тогда полная ширина проезжей части на криволинейном участке двухпутного съезда

$$b_{2(y)} = b_2 + e_2 = 7,50 + 0,86 = 8,36 \text{ м,} \quad (3.25)$$

а расстояние между осями его полос движения

$$d = b_{2(y)} / 2 = 8,36 / 2 = 4,14 \text{ м} \approx 4,0 \text{ м.} \quad (3.26)$$



Радиус

$$R_1 = R + d = 100 + 4 = 104 \text{ м.} \quad (3.27)$$

Определяем длину переходной кривой:

$$L = \frac{V^3}{R_1 \cdot j} = \frac{13,9^3}{104 \cdot 0,34} = 76,0 \text{ м.} \quad (3.31)$$

Принимаем  $L = 75 \text{ м.}$  При этом параметр клотоиды  $C = R_1 \cdot L = 104 \cdot 75 = 7800 \text{ м}^2$ .

Вычисляем длину совмещенного участка  $l_c$ . При скорости  $V = 50 \text{ км/ч}$  ордината  $Y = 3,6 \text{ м}$  (см. таблицу 1.3).

Тогда

$$l_c = \sqrt{6C \cdot Y} = \sqrt{6 \cdot 7800 \cdot 3,6} = 55,2 \text{ м} \approx 55 \text{ м.}$$

Длина отгона виража в этом случае  $l_o = 18 \text{ м.}$

Сумма длин  $l_c + l_o = 55 + 18 = 73 \text{ м.}$

Следовательно,  $L > l_c + l_o$  ( $75,0 > 72,7 \text{ м}$ ).

Определяем угол поворота переходной кривой:

$$\beta = 57,3 \cdot \frac{L}{2R_1} = 57,3 \cdot \frac{75}{2 \cdot 104} = 20^\circ 40'.$$

Вычисляем координаты конца переходной кривой:

$$x = L - \frac{L^5}{40C^2} = 75 - \frac{75^5}{40 \cdot 7800^2} = 75 - 0,98 = 74,02 \text{ м;}$$

$$y = \frac{L^3}{6C} - \frac{L^7}{336C^3} = \frac{75^3}{6 \cdot 7800} - \frac{75^7}{336 \cdot 7800^3} = 9,01 - 0,08 = 8,93 \text{ м.}$$

Определяем центральный угол:

$$\gamma' = 90 + \frac{\alpha}{2} - 2\beta = 90 + \frac{72^\circ 48'}{2} - 2 \cdot 20^\circ 40' = 85^\circ 04'.$$

Подсчитываем длину круговой кривой:

$$L'_0 = \frac{\pi \cdot R_1}{180} \cdot \gamma' = \frac{3,14 \cdot 104}{180} \cdot 85,07 = 154,3 \text{ м.}$$

Вычисляем длину составной кривой:

$$l'_{C.K.} = L'_0 + 2L = 154,3 + 2 \cdot 75 = 304,3 \text{ м.}$$



Находим тангенс круговой кривой для угла поворота ( $90^\circ + \alpha/2$ ):

$$T' = R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + \alpha / 2) = 104 \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2}(90^\circ + 72^\circ 48' / 2) = 205,9 \text{ м.}$$

Определяем дополнительный тангенс:

$$t' = x_1 - R \cdot \sin \beta = 74,02 - 104 \cdot 0,3530 = 37,3 \text{ м;}$$

$$\sin \beta = \sin 20^\circ 40' = 0,3530 .$$

Тогда тангенс составной кривой

$$T'_{C.K.} = T' + t' = 205,9 + 37,3 = 234,2 \text{ м.}$$

Поэтому детальную разбивку этой кривой следует производить по подсчитанным координатам.

Вычисляем длину отрезка АО:

$$AO = \frac{R \cdot \cos \beta + y_c}{\sin \alpha / 2} = \frac{100 \cdot \cos 20^\circ 58' + 8,76}{\sin 72^\circ 48' / 2} = 172,1 \text{ м.}$$

Определяем расстояния:

$$AG = AO + R_1 = 172,1 + 104 = 276,1 \text{ м;}$$

$$AP = AS = \frac{AG}{\cos \alpha / 2} = \frac{AG}{\cos 36^\circ 24'} = \frac{276,1}{0,8049} = 343,0 \text{ м;}$$

$$GP = GS = AP \cdot \sin \alpha / 2 = 343,0 \cdot 0,5934 = 203,5 \text{ м.}$$

Для дороги II категории ширина проезжей части  $b = 7,5$  м. Тогда расстояние между осями полос ее движения  $n = b/2 = 7,5/2 = 3,75$  м.

Вычисляем длину отрезка  $A_1A$ :

$$A_1A = \frac{n}{\sin \alpha} = \frac{n}{\sin 72^\circ 48'} = \frac{3,75}{0,9553} = 3,9 \text{ м.}$$

Находим расстояние  $A_1U$ :

$$A_1U = A_1A + AP + T'_{C.K.} = 3,9 + 343,0 + 90,3 = 437,2 \text{ м.}$$

Определяем расстояние  $A_1S_1$ :

$$A_1S_1 = AS + n \cdot (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha / 2) + 3,75 \cdot (\operatorname{ctg} 72^\circ 48' + \operatorname{tg} 36^\circ 24') = 346,9 \text{ м.}$$



Находим длину отрезка  $AA_1$ :

$$AA_1 = A_1S_1 - T'_{C.K.} = 346,9 - 243,2 = 103,7 \text{ м.}$$

Определяем длину отрезка  $SS_1$ :

$$SS_1 = \frac{n}{\cos\alpha/2} = \frac{3,75}{\cos 36^\circ 24'} = 4,7 \text{ м.}$$

Подсчитываем длину отрезка  $K_1U_1$ :

$$K_1U_1 = 2GP + SS_1 - T'_{C.K.} - T_{C.K.} = 2 \cdot 203,5 + 4,7 - 243,2 - 90,3 = 78,2 \text{ м.}$$

Находим длину пути, который проходят автомобили, сворачивающие влево с основной дороги на примыкающую:

$$S_{лев} = A_1K + I'_{C.K.} + K_1U_1 + I_{C.K.} = 103,7 + 304,3 + 78,2 + 173,6 = 659,8 \text{ м.}$$

Определяем длину однопутного участка левоповоротного съезда, ведущего с основной дороги на примыкающую:

$$L_{лев(одн)} = GP - T_{C.K.} + I_{C.K.} = 203,5 - 90,3 + 173,6 = 286,8 \text{ м.}$$

Вычисляем длину однопутного участка левоповоротного съезда  $L_{лев(одн)}$ , ведущего с примыкающей дороги на основную:

$$L_{лев(одн)} = \frac{\pi \cdot R}{180^\circ} \cdot \frac{\varphi}{2} + L = \frac{3,14 \cdot 100}{180^\circ} \cdot \frac{210^\circ 52'}{2} + 90 = 273,9 \text{ м.}$$

Определяем длину двухпутного съезда:

$$L_{лев(дн)} = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \frac{R + R_1}{2} \cdot \frac{\varphi}{2} + AB + L = \frac{3,14}{180^\circ} \cdot \frac{100 + 104}{2} \cdot 105^\circ 26' + 85,1 + 90 = 362,7 \text{ м.}$$

### Задание

Рассчитать элементы левоповоротных съездов на примыкании по типу «Труба» дороги II категории к дороге II категории по следующим исходным данным: расчетная скорость на левоповоротном съезде, ведущем с основной дороги на примыкающую дорогу,  $V = 50$  км/ч; коэффициенты сцепления  $\varphi = \varphi_1 = 0,48$ ; продольный уклон основной дороги в пределах транспортной развязки  $i_2 = 14$  ‰; уклон виража  $i_в = 40$  ‰; продольный уклон отгона виража  $i_о = 8$  ‰; другие исходные данные представлены в таблице 3.1:

– угол примыкания  $\alpha$ ;



- расчетные скорости на левоповоротном съезде, ведущем с примыкающей дороги на основную дорогу,  $V_{np}$  и  $V_{кр}$ ;
- разность отметок бровок земляного полотна дорог в местах их пересечения  $H$ ;
- поперечный уклон проезжей части дороги  $i_n$ ;
- максимальный продольный уклон на съездах  $i_{max}$ ;
- ускорение автомобиля в пределах переходной кривой  $a$ ;
- степень нарастания центробежного ускорения  $j$ .

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета примыкания по типу «Труба»

Вариант	Угол примыкания $\alpha$	$V_{np}$ , км/ч	$V_{кр}$ , км/ч	$\phi$	$H$ , м	$i_n$ , ‰	$i_{max}$ , ‰	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$j$ , м/с <sup>3</sup>
1–2	71°15'	60	50	0,60	6,1	15	30	0,47	0,34
3–4	62°30'	70	60	0,61	6,0	20	35	0,46	0,35
5–6	85°15'	60	50	0,62	5,9	15	40	0,45	0,33
7–8	76°30'	70	60	0,63	5,8	20	30	0,47	0,34
9–10	68°15'	60	50	0,60	5,7	15	35	0,46	0,35
11–12	81°30'	70	60	0,61	6,1	20	40	0,45	0,33
13–14	74°15'	60	50	0,62	6,0	15	30	0,47	0,34
15–16	65°30'	70	60	0,63	5,9	20	35	0,46	0,35
17–18	83°15'	60	50	0,60	5,8	15	40	0,45	0,33
19–20	78°30'	70	60	0,61	5,7	20	30	0,47	0,34

## 4 Практическая работа № 4. Реконструкция автомобильной дороги

### 4.1 Работы по уширению земляного полотна

В процессе реконструкции, как правило, необходимо выполнять работы по уширению земляного полотна для доведения его ширины до норм технической категории, установленной проектом для данной автомобильной дороги.

Необходимо стремиться наиболее полно использовать существующее земляное полотно. При этом его уширение может быть одно- или двусторонним.

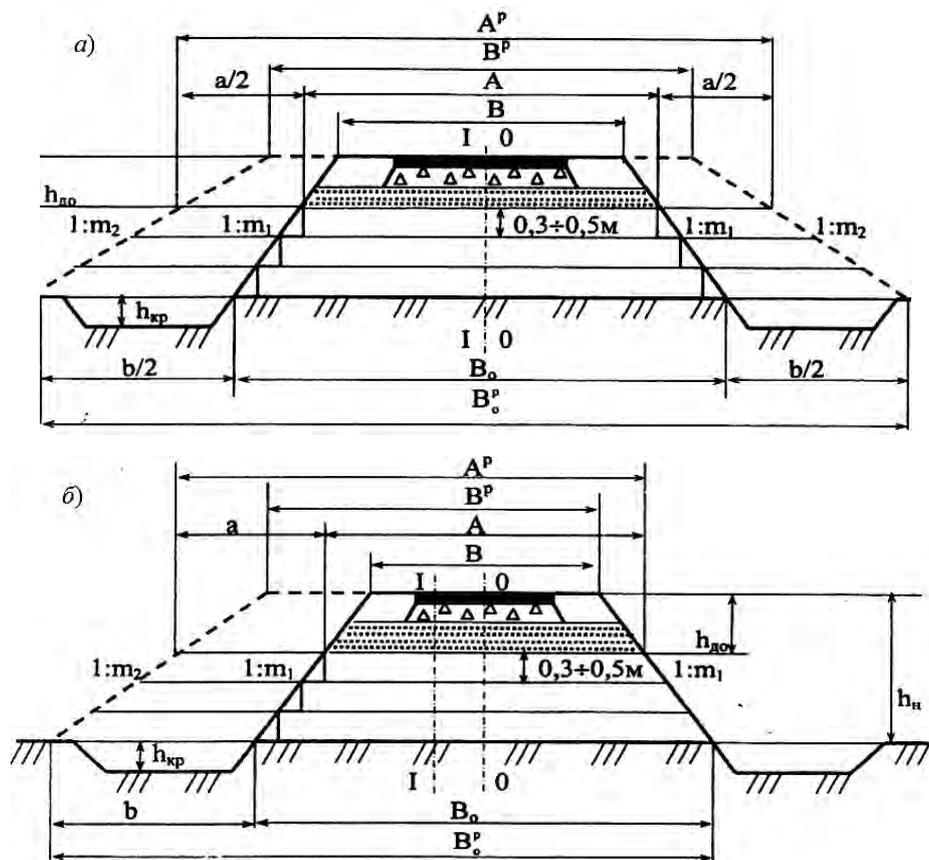
Односторонним называют уширение, при котором ось реконструируемой дороги смещена в сторону от оси существующей дороги, а уширение происходит путем досыпки насыпи или срезки откоса выемки с одной стороны (рисунок 4.1, б).

Двусторонним называют уширение, при котором сохраняется ось существующей дороги и она совмещается с осью уширенной дороги. При этом уширение происходит путем досыпки насыпи или срезки откосов выемки с двух сторон (рисунок 4.1, а).

Для лучшего сопряжения существующей насыпи с присыпаемым грунтом в теле насыпи нарезают уступы шириной 0,3...0,5 м и высотой до 0,5 м с укло-



ном 50 %. В насыпях из песчаных грунтов уклон уступов делают к оси дороги, в глинистых – от оси дороги. Высота уступа уточняется при определении уплотняющих средств и равна толщине уплотняемого слоя [6].



*a* – при двустороннем уширении; *b* – при одностороннем уширении

Рисунок 4.1 – Схема реконструкции земляного полотна

При определении объема работ по реконструкции земляного полотна учитывают только оплачиваемые земляные работы.

Объем земляных работ  $\Delta V$  при уширении земляного полотна (см. рисунок 4.1) можно определить по формуле

$$\Delta V = V_p - V = \frac{a+b}{2} \cdot (h_n - h_{до.о}) \cdot L \cdot K_{отн}, \quad (4.1)$$

где  $V$ ,  $V_p$  – объем грунта в теле насыпи до и после реконструкции соответственно;

$a$  – величина уширения на уровне отметки низа дорожной одежды, м;

$b$  – величина уширения по подошве насыпи, м;

$h_n$  – высота насыпи, м;

$h_{до.о}$  – толщина дорожной одежды до реконструкции, м;

$L$  – протяженность участка реконструкции, м;

$K_{отн}$  – коэффициент относительного уплотнения.

**Пример** – Необходимо реконструировать автомобильную дорогу IV технической категории в дорогу II категории с односторонним уширением при высоте насыпи  $h_n = 1$  м, заложении откосов 1:3, протяженности реконструируемого участка  $L = 5$  км и толщине существующей дорожной одежды  $h_{д.о} = 0,5$  м.

### Решение

Определяем нормативы автомобильной дороги до и после реконструкции [1] и заносим их в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Основные нормативы автомобильной дороги

Наименование параметра	Значение норм	
	до реконструкции	после реконструкции
Категория дороги	IV	II
Число полос движения	2	2
Ширина полосы движения, м	3,0	3,5
Ширина проезжей части, м	6,0	7,0
Ширина обочин, м	2,0	3,0
Ширина укрепленной части обочины, м	0,5	0,75

На основании данных таблицы 4.1 необходимо вычертить поперечные профили дороги с учетом изменения геометрических параметров после реконструкции. При этом профиль дороги до реконструкции вычерчивается в черных линиях, а профиль после реконструкции – в красных линиях с указанием всех размеров (см. рисунок 4.1, а).

Величину уширения на уровне отметки низа дорожной одежды определяем по формуле

$$a = A^p - A = 15,25 - 11,5 = 3,75 \text{ м}, \quad (4.2)$$

где  $A^p$  – ширина низа дорожной одежды после реконструкции, м;

$A$  – ширина низа дорожной одежды до реконструкции, м.

Величина уширения по подошве насыпи находится по формуле

$$b = B_0^p - B_0 = 17,5 - 13 = 4,5 \text{ м}, \quad (4.3)$$

где  $B_0^p$  – ширина верха дорожной одежды после реконструкции, м;

$B_0$  – ширина верха дорожной одежды до реконструкции, м.

Объем земляных работ  $\Delta V$  при уширении земляного полотна находим по формуле (4.1):

$$\Delta V = \frac{3,75 + 4,5}{2} \cdot (1 - 0,5) \cdot 5000 \cdot 1,1 = 11344 \text{ м}^3.$$



Объем грунта  $V_{кр}$  для засыпки боковых резервов

$$V_{кр} = \frac{1}{2} \cdot V = \left( \frac{A + B_0}{4} \right) \cdot (h_n - h_{д.о}) (L - L_{соср}) \cdot K_{отн}, \quad (4.4)$$

где  $L_{соср}$  – протяженность участка сосредоточенных работ, м.

$$V_{кр} = \left( \frac{11,5 + 13}{4} \right) \cdot (1 - 0,5) (5000 - 0) \cdot 1,1 = 16844 \text{ м}^3.$$

Снимаемый с обочин объем грунта

$$V_{об} = \left( \frac{A + B}{2} - B_{об} \right) (L - L_{соср}) \cdot h_{д.о}, \quad (4.5)$$

где  $B_{об}$  – ширина проезжей части до реконструкции (с учетом укрепленной части обочин), м.

$$V_{об} = \left( \frac{11,5 + 10}{2} - 7 \right) (5000 - 0) \cdot 0,5 = 9375 \text{ м}^3.$$

Объем привозного грунта для засыпки боковых резервов

$$V_{пр} = V_{кр} - V_{об} = 16844 - 9375 = 7469 \text{ м}^3. \quad (4.6)$$

Результаты расчетов заносят в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчетов

Работа или показатель	Количество
1 Общая протяженность участка реконструкции, км	5
2 Протяженность участка линейных земляных работ, км	5
3 Протяженность участка сосредоточенных земляных работ, км	–
4 Общий объем земляных работ, м <sup>3</sup>	28188
5 Объем линейных земляных работ, м <sup>3</sup>	28188
6 Объем линейных земляных работ на 1 км, м <sup>3</sup>	5637,6
7 Объем сосредоточенных земляных работ, м <sup>3</sup>	–
8 Объем грунта снимаемого с обочин, м <sup>3</sup>	9375
9 Объем грунта для засыпки боковых резервов, м <sup>3</sup>	7469
10 Объем земляных работ при уширении земляного полотна, м <sup>3</sup>	11344

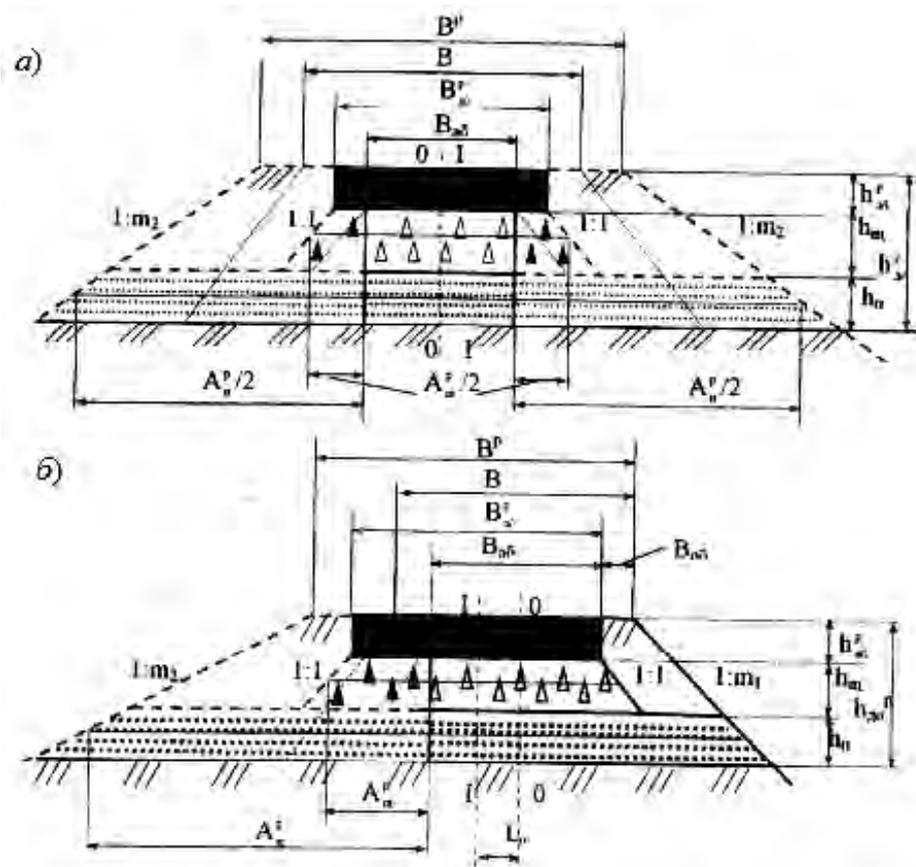


## 4.2 Уширение дорожной одежды

Выбор способа уширения дорожной одежды зависит от способа уширения земляного полотна. Технология производства работ определяется величиной уширения проезжей части и принятым способом реконструкции дорожной одежды. Необходимая величина уширения проезжей части в зависимости от изменения категории дороги в ходе реконструкции может составлять от 0,5 до 1,5 м, а с учетом ширины краевых полос – до 3 м.

Исходя из выбранного способа уширения земляного полотна и необходимой величины уширения дорожной одежды, можно предусмотреть два варианта ее уширения.

1 Одностороннее (несимметричное) уширение, вызывающее смещения оси дороги, устройство выравнивающего слоя и нового покрытия на всю ширину проезжей части (рисунок 4.2, б).



а – при двустороннем уширении; б – при одностороннем уширении

Рисунок 4.2 – Схема определения геометрических размеров дорожной одежды после реконструкции

При уширении дорожной одежды на величину более 2 м в сторону обочины, имеющей ширину 2,5 м, необходимо срезать все земляное полотно с уширяемой стороны.

При уширении проезжей части на меньшую ширину (до 1,5 м) сохраняют

старое земляное полотно, послойно его уширяя. Уширение дорожной одежды устраивают в соответствии с рекомендациями в траншее (ровике), прорываемой вдоль старой дорожной одежды.

При проведении работ по уширению необходимо выполнить следующие технологические операции:

- разрыхление грунта и материала укрепленной части обочины кирковщиками на автогрейдере, бульдозере или других машинах;
- рыхление на всю ширину будущей траншеи;
- устройство корыта для полосы уширения вдоль кромки существующей дорожной одежды с поперечным уклоном 30...120 ‰ в сторону обочины, для устройства траншей применяют многоковшовые, траншейные экскаваторы или автогрейдеры с накладкой на отвале;
- заполнение траншей слоями дорожной одежды, предусмотренными по проекту, с помощью автогрейдера и навесного одновальцевого катка;
- укладка выравнивающего слоя и нового слоя покрытия на всю ширину проезжей части.

2 Двустороннее (симметричное) уширение проезжей части аналогично одностороннему уширению может быть осуществлено двумя способами, только работы по уширению производят с двух сторон (рисунок 4.2, а).

При выполнении курсовой работы требуется разработать технологию выполняемых работ по уширению дорожной одежды, необходимо предусмотреть устройство укрепленных полос на обочинах по типу конструкции основной дорожной одежды после реконструкции.

В случае одностороннего уширения следует увеличить ширину обочин с обеих сторон проезжей части.

Для предупреждения возможного появления отраженных трещин и трещин в местах стыка старой и новой дорожных одежд необходимо использовать армирующую сетку.

При частичной разборке дорожной одежды величина уширения дополнительного слоя основания  $A_{II}^p$  составляет:

- при двустороннем уширении

$$A_{II}^p = B^p + m_2 \cdot (2h_{o.o}^p - h_{II}) - 1,5 \cdot B_{a\bar{o}}, \quad (4.7)$$

где  $B^p$  – ширина земляного полотна после реконструкции, м;

$m_2$  – заложение откосов насыпи после реконструкции;

$h_{o.o}^p$  – толщина дорожной одежды после реконструкции, м;

$h_{II}$  – толщина дополнительного слоя основания, м;

$B_{a\bar{o}}$  – ширина проезжей части до реконструкции, м;

- при одностороннем уширении

$$A_{II}^p = B^p + m_2 \cdot (h_{o.o}^p - 0,5 \cdot h_{II}) - B_{a\bar{o}} - B_{o\bar{o}}, \quad (4.8)$$



где  $B_{об}$  – ширина обочины до реконструкции, м.

Величина уширения слоя основания  $A_{II}^p$  составляет:

– при двустороннем уширении (см. рисунок 4.2, а)

$$A_{II}^p = B_{об}^p + m \cdot h_{щ} - B_{об}, \quad (4.9)$$

где  $B_{об}^p$  – ширина проезжей части после реконструкции (с учетом укрепленной части обочин), м;

$m$  – заложение откосов слоя основания,  $m = 1$ ;

$h_{щ}$  – толщина слоя основания, м;

– при одностороннем уширении

$$A_{щ}^p = B_{об}^p + 0,5m \cdot h_{щ} - B_{об}. \quad (4.10)$$

При одностороннем уширении необходима укладка выравнивающего слоя для перемещения оси проезжей части и обеспечения равного поперечного уклона покрытия на обеих полосах движения. Толщина выравнивающего слоя определяется по формуле

$$H_{выр} = 2 \cdot 0,02 \cdot L_0, \quad (4.11)$$

где  $L_0$  – расстояние смещения оси дороги после реконструкции от оси существующей дороги, м.

$$L_0 = \frac{B^p - B}{2}, \quad (4.12)$$

где  $B$  – ширина земляного полотна до реконструкции, м.

**Пример** – Принимается двустороннее уширение земляного полотна с частичной разборкой существующей дорожной одежды.

При этом величина уширения существующего дополнительного песчаного слоя составляет (см. формулу (4.7))

$$A_{II}^p = 13 + 3 \cdot (2 \cdot 0,62 - 0,25) - 1,5 \cdot 7 = 5,47 \text{ м.}$$

Величина уширения существующего щебеночного основания определяется по формуле (4.9)

$$A_{II}^p = 8,5 + 1 \cdot 0,22 - 7 = 1,72 \text{ м.}$$

На основании принятой технологии производства работ и проведенных расчетов определяются объемы работ по уширению слоев существующей дорожной одежды. Данные заносят в ведомость объемов работ (таблица 4.3).



Таблица 4.3 – Ведомость объемов работ

Наименование работ по уширению дорожной одежды	Единица измерения	Объем работ
1 Частичная разборка существующей дорожной одежды: покрытия, $h = 7 - 7$ см	м <sup>3</sup>	2450
основания, $h = 18 - 8$ см	м <sup>3</sup>	2832
песчаного подстилающего слоя, $h = 25 - 0$ см	м <sup>3</sup>	0
2 Устройство песчаного подстилающего слоя, $h = 25$ см	м <sup>3</sup>	6838
3 Устройство основания, $h = 22$ см	м <sup>3</sup>	1892 + 2832
4 Устройство выравнивающего слоя, $h = 5$ см	м <sup>3</sup>	0
5 Устройство покрытия: нижний слой, $h = 8$ см	м <sup>3</sup>	3400
верхний слой, $h = 7$ см	м <sup>3</sup>	2975

### Задание

Реконструировать автомобильную дорогу с односторонним уширением. Исходные данные представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Исходные данные

Вариант	Категория дороги		$L$ , км	$h_{д.о.}$ , м	$h_n$ , м
	до реконструкции	после реконструкции			
1–5	IV	III	6	0,4	0,7
6–10	III	II	4	0,5	1
11–15	IV	II	7	0,6	1,2
16–20	IV	III	8	0,7	1,4

## 5 Практическая работа № 5. Расчет дорожных насыпей на болотных грунтах

### 5.1 Струенаправляющая дамба на слабом основании

Поскольку неравномерная осадка струенаправляющей дамбы, равно как и образование валов выпирания грунта у ее подошвы, не представляет существенной опасности для работы, выполняемой дамбой, проверяем ее устойчивость по формулам предельного равновесия.

Давление от дамбы на подстилающий грунт

$$P_0 = h_0 \cdot \gamma_{нас}, \quad (5.1)$$

где  $h_0$  – высота дамбы, м;

$\gamma_{нас}$  – удельный вес грунта в теле насыпи, кН/м<sup>3</sup>.

Давление насыпи на подстилающий грунт, при котором в основании образу-



ются криволинейные поверхности скольжения и происходит просадка насыпи, сопровождающаяся выпучиванием грунта по ее бокам, можно установить по формуле

$$P = (S + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad (5.2)$$

где  $S$  – глубина погружения насыпи в грунт, м;

$c$  – сцепление грунта, кПа;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град.

Коэффициент устойчивости определяем по формуле

$$K_{уст} = \frac{P}{P_0}, \quad (5.3)$$

где  $P$  – давление насыпи на подстилающий грунт, кПа;

$P_0$  – давление от дамбы на подстилающий грунт, кПа.

Устойчивость основания считается обеспеченной при условии  $K_{уст} \geq 1$ .

Глубину погружения насыпи определяем путем подбора, учитывая следующее: дамба по мере осадки досыпается таким образом, что ее рабочая отметка остается постоянной. В погрузившейся части насыпи грунт испытывает подъемную силу воды и удельный вес его уменьшается до значения

$$\gamma_1 = (1 - n) \cdot (\gamma_{y\partial} - 10), \quad (5.4)$$

где  $n$  – пористость грунта, %;

$\gamma_{y\partial}$  – удельный вес частиц грунта, кН/м<sup>3</sup>.

Далее задаемся глубиной погружения насыпи и рассчитываем давление насыпи на основания:

$$p = h_0 \cdot \gamma_{нас} + S \cdot \gamma_1. \quad (5.5)$$

Искомая глубина погружения

$$S = \frac{1}{\gamma_{осн}} \left[ (p + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \cdot e^{-\pi \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \right]. \quad (5.6)$$

**Пример** – Вычислить осадку струенаправляющей дамбы по следующим исходным данным: дамба высотой  $h_D = 9$  м и шириной по верху  $b_D = 3$  м возведена на слое водонасыщенной глины; заложение откосов дамбы 1:2; глина характеризуется удельным весом  $\gamma_{осн} = 17$  кН/м<sup>3</sup>, сцеплением  $c = 0,015$  МПа и углом внутреннего трения  $\varphi = 8^\circ$ ; пористость глины 28 %; удельный вес частиц грунта  $\gamma_{y\partial} = 25$  кН/м<sup>3</sup>; удельный вес грунта в теле насыпи  $\gamma_{нас} = 18$  кН/м<sup>3</sup>.



### Решение

Поскольку неравномерная осадка струенаправляющей дамбы, равно как и образование валов выпирания грунта у ее подошвы, не представляет существенной опасности для работы, выполняемой дамбой, проверяем ее устойчивость по формулам предельного равновесия.

Давление от дамбы на подстилающий грунт (см. формулу (5.1))

$$P_o = 9 \cdot 18 = 162 \text{ кПа.}$$

Давление насыпи на подстилающий грунт, при котором в основании образуются криволинейные поверхности скольжения и происходит просадка насыпи, сопровождающаяся выпучиванием грунта по ее бокам, можно установить по формуле (5.2). При  $S = 0$  м

$$P = 15 \cdot \text{ctg}8^\circ \cdot \frac{1 + \sin 8^\circ}{1 - \sin 8^\circ} \cdot e^{3,14 \text{tg}8^\circ} - 15 \cdot \text{ctg}8^\circ = 113,4 \text{ кПа.}$$

Коэффициент устойчивости определяем по формуле (5.3):

$$K_{уст} = \frac{113,4}{162} = 0,7.$$

Коэффициент устойчивости  $K_{уст} = 0,7$ , следовательно, произойдет осадка насыпи с выпиранием грунта по бокам.

Глубину погружения насыпи определяем путем подбора, учитывая следующее: дамба по мере осадки досыпается таким образом, что ее рабочая отметка 9 м остается постоянной. В погружившейся части насыпи грунт испытывает подъемную силу воды и удельный вес его уменьшается до значения  $\gamma_1$  (см. формулу (5.4)):

$$\gamma_1 = (1 - 0,28) \cdot (25 - 10) = 10,8 \text{ кН/м}^3.$$

Задаемся глубиной погружения насыпи 1,9 м. Тогда давление насыпи на основание (см. формулу (5.5))

$$p = 9 \cdot 18 + 1,9 \cdot 10,8 = 183 \text{ кПа.}$$

Искомая глубина погружения (см. формулу (5.6))

$$S = \frac{1}{17} \left[ (183 + 15 \cdot \text{ctg}8^\circ) \cdot \frac{1 - \sin 8^\circ}{1 + \sin 8^\circ} \cdot 2,71^{-3,14 \text{tg}8^\circ} - 15 \cdot \text{ctg}8^\circ \right] \approx 1,5 \text{ м.}$$

Вычисленное значение глубины погружения насыпи не превышает заданной величины, следовательно, осадка находится в допустимых пределах.



Исходные данные для вычисления осадки струенаправляющей дамбы представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные

Вариант	$h_D$ , м	$\gamma_{уд}$ , кН/м <sup>3</sup>	$b_D$ , м	$c$ , МПа	$\varphi$ , град
1–7	8	17	3	0,020	12
8–13	10	19	4	0,024	15
14–20	11	25	5	0,010	3

## 5.2 Насыпь на мягком основании значительной мощности на подходах к мосту

Для устойчивости насыпи необходимо, чтобы в одной точке грунтового массива касательные напряжения не превышали сопротивления грунта сдвигу.

К основаниям значительной мощности могут быть отнесены случаи, когда толщина слоя слабого грунта не менее 1,5 ширины насыпи по низу.

Для расчета максимальных касательных напряжений в некоторой точке грунта может быть использован график (рисунок 5.1), на котором даны отношения  $\tau_{\max}/P$  в зависимости от полуширины насыпи по низу ( $a + b$ ) и полуширины земляного полотна  $B$ .

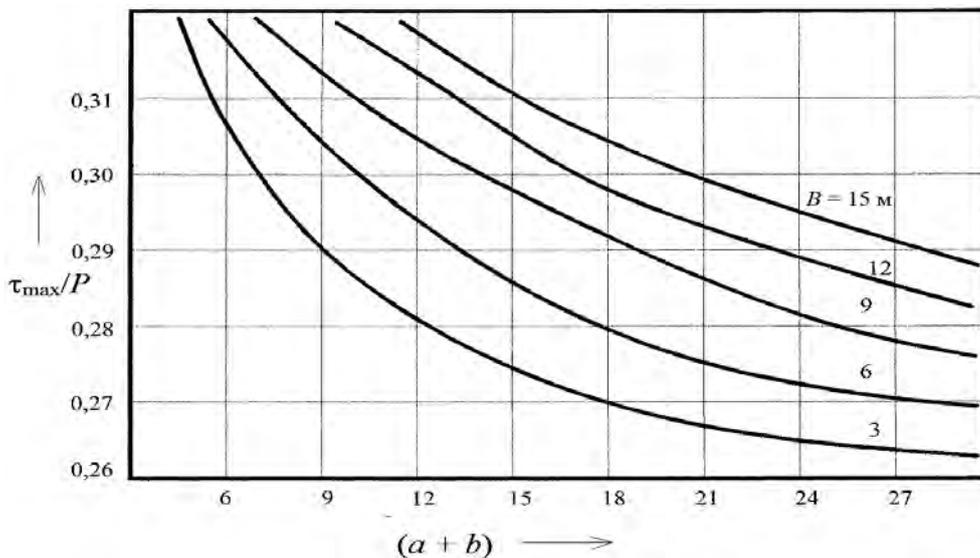


Рисунок 5.1 – График для определения максимальных касательных напряжений в основании насыпи

Давление от веса насыпи на основание  $P_1$  находим по формуле

$$P_1 = h_{НАС} \cdot \gamma_{НАС}, \quad (5.7)$$

где  $h_{НАС}$  – высота насыпи, м;

$\gamma_{НАС}$  – удельный вес грунта в теле насыпи, кН/м<sup>3</sup>.

При оценке устойчивости необходимо также учесть вес автомобилей,

проезжающих по дороге, а также дополнительную удельную нагрузку в средней части подошвы насыпи  $P_2$ .

$$P_2 = \frac{n \cdot f}{l \cdot B}, \quad (5.8)$$

где  $n$  – количество автомобилей;

$f$  – вес автомобиля, кН;

$l$  – длина автомобиля, м;

$B$  – ширина насыпи по верху, м.

Таким образом, общее давление насыпи на основание

$$P = P_1 + P_2. \quad (5.9)$$

По графику (см. рисунок 5.1) определяем отношение  $\tau_{\max}/P$ .

Коэффициент устойчивости насыпи (отношение сопротивления сдвигу  $c$  к главным сдвигающим напряжениям  $\tau_{\max}$ )

$$K_{уст} = \frac{c}{\tau_{\max}}. \quad (5.10)$$

**Пример** – Оценить устойчивость насыпи на дороге, где должно быть построено цементобетонное покрытие. Высота насыпи  $h_{НАС} = 12$  м, ширина по верху  $B = 15$  м. Удельный вес грунта в теле насыпи  $\gamma_{НАС} = 17$  кН/м<sup>3</sup>. Подстилающий грунт – водонасыщенный суглинок со сцеплением  $c = 0,1$  МПа. Насыпь отсыпается из суглинистого грунта. В верхней части насыпи (7 м) откосам дается заложение 1:1,5, в нижней части (5 м) – 1:1,75.

*Решение*

Давление от веса насыпи на основание  $P_1$  находим по формуле (5.7):

$$P_1 = 12 \cdot 17 = 204 \text{ кПа.}$$

При оценке устойчивости необходимо также учесть вес автомобилей, проезжающих по дороге. Принимая во внимание отсутствие в задании указаний о необходимости учета гусеничной нагрузки, предполагаем, что наиболее неблагоприятный случай загрузки насыпи будет при остановке двух колонн автомобилей МАЗ-500А (вес груженого автомобиля 148,25 кН) на проезжей части и двух колонн на обочинах. Согласно расчетной схеме один автомобиль приходится на 12 м длины дороги. Это соответствует дополнительной удельной нагрузке в средней части подошвы насыпи  $P_2$  (см. формулу (5.8)).

$$P_2 = \frac{4 \cdot 148,25}{12 \cdot 15} = 3,3 \text{ кПа.}$$

Общее давление насыпи на основание находим по формуле (5.9):

$$P = 204 + 3,3 = 207,3 \text{ кПа.}$$



Половина ширины насыпи по низу

$$(b + a) = (15/2) + 7 \cdot 1,5 + 5 \cdot 1,75 = 26,75 \text{ м.}$$

По графику (см. рисунок 5.1) получаем, что при  $b = 7,5$  м и  $a + b = 26,75$  м отношение  $\tau_{\max}/P = 0,276$ , откуда срезающее напряжение  $\tau_{\max} = 0,276 \cdot 207,3 = 57,2$  кПа.

Коэффициент устойчивости насыпи определяем по формуле (5.10):

$$K_{уст} = \frac{0,1}{0,0572} = 1,75.$$

Учитывая, что устойчивость насыпи в действительности будет несколько большей в связи с углублением ее подошвы в грунт при осадке, можно считать, что устойчивость насыпи от неравномерных просадок, опасных для покрытия, обеспечена.

В таблице 5.2 представлены варианты для оценки устойчивости насыпи.

Таблица 5.2 – Исходные данные

Вариант	$h_{НАС}$ , м	$\gamma_{НАС}$ , кН/м <sup>3</sup>	$B$ , м	$c$ , МПа	$h_{НАС(верх.)}$ (при 1:1,5), м	$h_{НАС(низ)}$ (при 1:1,75), м
1–7	8	17	12	0,030	6	2
8–13	12	19	11	0,020	8	4
14–20	15	18	15	0,024	9	6

## Список литературы

- 1 ТКП 45-3.03-19–2006. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры, 2008. – 180 с.
- 2 Гохман, В. А. Пересечение и примыкание автомобильных дорог / В. А. Гохман, В. М. Визгалов, М. П. Поляков. – Москва: Высшая школа, 1989. – 311 с.
- 3 СТБ 1140–2013. Знаки дорожные. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, 2013. – 110 с.
- 4 СТБ 1300–2014. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Минск: Госстандарт, 2014. – 137 с.
- 5 Шведовский, П. В. Изыскание и проектирование автомобильных дорог: в 2 ч. Ч. 2: Обустройство автомагистралей: учебное пособие / П. В. Шведовский, В. В. Лукша, Н. В. Чумичева. – Минск: Новое зрение; Москва: ИНФРА-М, 2017. – 340 с.
- 6 Бабков, В. Ф. Реконструкция автомобильных дорог / В. Ф. Бабков. – Москва: Высшая школа, 1978. – 264 с.
- 7 Проект транспортной развязки: метод. указания к выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / Сост. И. К. Яцевич, Е. И. Кононова. – Минск : БНТУ, 2010. – 101 с.

