

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Г. В. АХРАМЕНКО, Е. А. ТЕМНИКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Часть I

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА, ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ
И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Практическое пособие

Гомель 2014

УДК 625.7/.8(075.8)
ББК 39.311
А95

Рецензент – главный инженер ПКП «Гомельдорпроект» *А.А. Сухарков*

Ахраменко, Г. В.

А95 Проектирование автомобильных дорог : практ. пособие : в 2 ч. / Г. В. Ахраменко, Е. А. Темников ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – Ч. 1 : Проектирование плана, продольного профиля и земляного полотна автомобильных дорог. – 60 с.
ISBN 978-985-554-290-3 (ч. I)

Приводятся краткие сведения из теории раздела «Проектирование трассы, плана, продольного профиля и земляного полотна автомобильных дорог» дисциплины «Проектирование автомобильных дорог» в соответствии с типовой программой, примеры решения задач и перечень задач для самостоятельного решения.

Предназначено для выработки практических навыков в решении задач по проектированию плана, продольного профиля и земляного полотна автомобильных дорог у студентов специальности «Строительство автомобильных дорог и аэродромов».

УДК 625.7/.8(075.8)
ББК 39.311

ISBN 978-985-554-290-3(ч. I)
ISBN 978-985-554-289-7

© Ахраменко Г. В., Темников Е.А., 2014
© Оформление. УО «БелГУТ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| 1 Проектирование плана трассы автомобильных дорог. | 5 |
| 1.1 Расчет закругления, состоящего из круговой кривой. | 5 |
| 1.2 Расчет закругления, состоящего из круговой и переходных кривых | 7 |
| 1.3 Расчет клотоидного закругления | 13 |
| 1.3.1 Расчет симметричного клотоидного закругления | 15 |
| 1.3.2 Расчет несимметричного клотоидного закругления | 18 |
| 1.4 Расчет серпантины | 22 |
| 1.5 Расчет элементов виража | 27 |
| 2 Проектирование вертикальных кривых. | 32 |
| 2.1 Расчет элементов вертикальных кривых | 32 |
| 2.2 Порядок проектирования вертикальных кривых | 34 |
| 3 Проектирование поперечных профилей земляного полотна | 37 |
| 3.1 Граница полосы отвода земель для строительства автомобильной дороги. | 37 |
| 3.2 Элементы поперечного профиля земляного полотна | 38 |
| 3.3 Типовые поперечные профили земляного полотна | 39 |
| 3.4 Поперечные профили земляного полотна на болотах | 45 |
| 4 Расчет устойчивости откоса высоких насыпей и глубоких выемок земляного полотна. | 49 |
| 4.1 Общие положения | 49 |
| 4.2 Порядок расчета устойчивости откосов насыпей | 52 |
| Список использованной и рекомендуемой литературы | 57 |
| Приложение А Элементы клотоид | 58 |

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование автомобильных дорог – учебная дисциплина, рассматривающая принципы технико-экономического обоснования генеральных размеров всех сооружений дорог на основе комплексного учета их хозяйственного значения, природных условий, требования эффективности и безопасности автомобильных перевозок, методы выбора направления дороги на местности и разработки проекта ее строительства. Правильно запроектированная дорога обеспечивает безопасное движение с расчетными скоростями, высоким уровнем удобства как одиночных автомобилей, так и транспортных потоков даже в самые напряженные периоды работы дорог, надежность и долговечность земляного полотна, дорожных одежд, водопропускных сооружений и т. д. [Федотов].

Основными геометрическими элементами автомобильных дорог являются элементы плана трассы, продольного профиля и поперечного профиля земляного полотна.

Изучение процесса проектирования трассы, плана, продольного и поперечного профилей автомобильных дорог предусмотрено в дисциплинах «Проектирование автомобильных дорог» и «Пути сообщения и их транспортные качества». По учебному плану на эти дисциплины отводятся лекции, практические и лабораторные занятия. Кроме этого студенты обязаны выполнить курсовой проект или курсовую работу, а при выполнении дипломных проектов – решать ряд задач, связанных с конкретными объектами дипломного проектирования.

Пособие предназначено для проведения практических занятий и также может быть использовано при выполнении курсовых работ, курсовых и дипломных проектов. Комплекс задач охватывает весь программный материал по вопросам проектирования трассы, плана, продольного и поперечного профилей земляного полотна автомобильных дорог, при этом учтены действующие в настоящее время нормативные документы.

В пособии представлены семь типов задач, связанных с проектированием плана, продольного и поперечного профилей земляного полотна автомобильных дорог. Каждый тип задач содержит вводную информацию, пример расчета и 30 вариантов исходных данных.

При подготовке данного пособия были учтены опыт организации учебно-воспитательного процесса, научные разработки и методические подходы, которые культивируются в лекционной и практической работе сотрудниками

кафедры «Изыскания и проектирование дорог» строительного факультета Белорусского государственного университета транспорта.

1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Проектирование плана трасс автомобильных дорог представляет собой один из наиболее ответственных этапов проектирования, поскольку во многом определяет приведенные затраты, строительную стоимость, транспортно-эксплуатационные расходы, уровни удобства и безопасность движения, а также степень вредного воздействия дороги на окружающую среду.

При традиционном принципе трассирования автомобильных дорог, *тангенциальном трассировании* план дороги состоит из прямолинейных участков и закруглений, вписанных в углы поворота. В зависимости от категории дороги и условий рельефа местности **закругления** на автомобильных дорогах бывают:

- состоящее из круговой кривой;
- клотоидное;
- серпантины.

1.1 Расчет закругления, состоящего из круговой кривой

При радиусах закруглений более 2000 м переходные кривые можно не устраивать (рисунок 1.1).

Проектирование плана такого **закругления** ведут в следующей последовательности:

- определяют пикетажное положение вершины угла – ПК ВУП;
- транспортиром находят величину угла поворота. По величине угла поворота и принятому радиусу по таблице 1.1 или из литературы [3] определяют длину кривой K , тангенс T , биссектрису B , домер D ;
- устанавливают пикетажное положение основных точек закругления: *начало* (НЗ) и *конец* (КЗ) по следующим

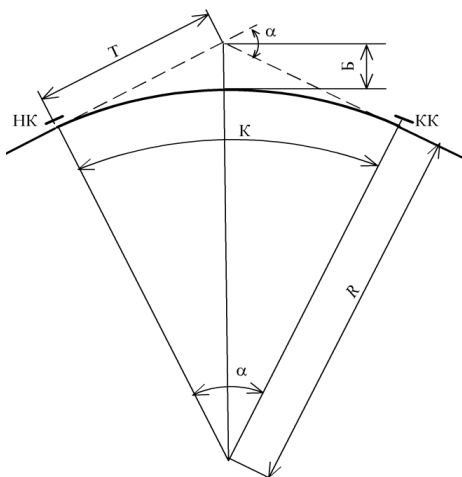


Рисунок 1.1 – Закругление, состоящее из круговой кривой

формулам:

$$\text{ПК НЗ} = \text{ПК ВУП} - \text{Т}; \quad (1.1)$$

$$\text{ПК КЗ} = \text{ПК НЗ} + \text{К}. \quad (1.2)$$

Т а б л и ц а 1.1 – Элементы круговых кривых при $R = 1000$ м

Размеры в метрах

| Угол поворота, град | Тангенс Т | Длина кривой К | Домер Д | Биссектриса Б | Угол поворота, град | Тангенс Т | Длина кривой К | Домер Д | Биссектриса Б |
|---------------------|-----------|----------------|---------|---------------|---------------------|-----------|----------------|---------|---------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 354,12 | 680,68 | 27,56 | 60,85 |
| 1 | 8,73 | 17,45 | 0 | 0,04 | 40 | 363,97 | 698,13 | 29,81 | 64,18 |
| 2 | 17,46 | 34,91 | 0 | 0,15 | 41 | 373,89 | 715,59 | 32,19 | 67,61 |
| 3 | 26,19 | 52,36 | 0,01 | 0,34 | 42 | 383,86 | 733,04 | 34,69 | 71,15 |
| 4 | 34,92 | 69,81 | 0,03 | 0,61 | 43 | 393,91 | 750,49 | 37,33 | 74,19 |
| 5 | 43,66 | 87,23 | 0,06 | 0,95 | 44 | 404,03 | 767,95 | 40,11 | 78,54 |
| 6 | 52,41 | 104,72 | 0,10 | 1,37 | 45 | 414,21 | 785,40 | 43,03 | 82,39 |
| 7 | 61,16 | 122,17 | 0,15 | 1,87 | 46 | 424,48 | 802,85 | 46,11 | 88,36 |
| 8 | 69,93 | 139,63 | 0,23 | 2,44 | 47 | 434,81 | 820,31 | 49,32 | 90,44 |
| 9 | 78,70 | 157,08 | 0,32 | 3,09 | 48 | 445,23 | 837,76 | 52,70 | 94,64 |
| 10 | 87,49 | 174,53 | 0,45 | 3,82 | 49 | 455,73 | 855,21 | 56,24 | 98,95 |
| 11 | 96,83 | 191,99 | 0,59 | 4,63 | 50 | 466,31 | 872,67 | 59,95 | 103,38 |
| 12 | 105,10 | 209,44 | 0,77 | 5,51 | 51 | 476,98 | 890,12 | 63,83 | 107,93 |
| 13 | 113,94 | 226,89 | 0,98 | 6,47 | 52 | 487,73 | 907,57 | 67,90 | 112,60 |
| 14 | 122,79 | 244,35 | 1,22 | 7,51 | 53 | 498,58 | 925,03 | 72,14 | 117,40 |
| 15 | 131,65 | 261,80 | 1,51 | 8,63 | 54 | 509,53 | 942,48 | 76,57 | 122,33 |
| 16 | 140,54 | 279,25 | 1,83 | 9,83 | 55 | 520,57 | 959,93 | 81,20 | 127,38 |
| 17 | 149,45 | 296,71 | 2,20 | 11,11 | 56 | 531,71 | 977,38 | 86,04 | 132,57 |
| 18 | 158,38 | 314,16 | 2,61 | 12,47 | 57 | 542,96 | 994,84 | 91,07 | 137,89 |
| 19 | 167,34 | 331,61 | 3,07 | 13,91 | 58 | 554,31 | 1012,29 | 96,33 | 143,35 |
| 20 | 176,33 | 349,07 | 3,59 | 15,43 | 59 | 565,77 | 1029,74 | 101,80 | 148,96 |
| 21 | 185,34 | 366,52 | 4,16 | 17,03 | 60 | 577,35 | 1047,20 | 107,50 | 154,70 |
| 22 | 194,38 | 383,97 | 4,79 | 18,72 | 61 | 589,05 | 1064,65 | 113,44 | 160,59 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|-------|-------|----|--------|---------|--------|--------|
| 23 | 203,45 | 401,43 | 5,48 | 20,49 | 62 | 600,86 | 1082,10 | 119,62 | 166,63 |
| 24 | 212,56 | 418,88 | 6,24 | 22,34 | 63 | 612,80 | 1099,56 | 126,05 | 172,83 |
| 25 | 221,70 | 436,33 | 7,06 | 24,28 | 64 | 624,87 | 1117,01 | 132,73 | 179,18 |
| 26 | 230,87 | 453,79 | 7,95 | 26,30 | 65 | 637,07 | 1134,46 | 139,68 | 185,69 |
| 27 | 240,08 | 471,24 | 8,92 | 28,42 | 66 | 649,41 | 1151,92 | 146,90 | 192,36 |
| 28 | 249,33 | 488,69 | 9,96 | 30,61 | 67 | 661,89 | 1169,37 | 154,40 | 199,20 |
| 29 | 258,62 | 506,15 | 11,09 | 32,90 | 68 | 674,51 | 1186,82 | 162,19 | 206,22 |
| 30 | 267,95 | 523,60 | 12,30 | 35,28 | 69 | 687,28 | 1204,28 | 170,29 | 213,41 |
| 31 | 277,33 | 541,05 | 13,60 | 37,74 | 70 | 700,21 | 1221,73 | 178,69 | 220,77 |
| 32 | 286,75 | 558,51 | 14,99 | 40,30 | 71 | 713,29 | 1239,18 | 187,40 | 228,33 |
| 33 | 296,21 | 575,96 | 16,47 | 42,95 | 72 | 726,54 | 1256,64 | 196,45 | 236,07 |
| 34 | 305,73 | 593,41 | 18,05 | 45,69 | 73 | 739,96 | 1274,09 | 205,83 | 244,00 |
| 35 | 315,30 | 610,87 | 19,73 | 48,53 | 74 | 753,55 | 1291,54 | 215,56 | 252,14 |
| 36 | 324,92 | 628,32 | 21,52 | 51,46 | 75 | 767,33 | 1308,99 | 225,66 | 260,47 |
| 37 | 334,60 | 645,77 | 23,42 | 54,49 | 76 | 781,29 | 1326,45 | 236,12 | 269,02 |
| 38 | 334,33 | 663,23 | 25,43 | 57,62 | 77 | 795,44 | 1343,90 | 246,97 | 277,78 |

Окончание таблицы 1.1

| Угол поворота, град | Тангенс Т | Длина кривой К | Домер Д | Биссектриса Б | Угол поворота, град | Тангенс Т | Длина кривой К | Домер Д | Биссектриса Б |
|---------------------|-----------|----------------|---------|---------------|---------------------|-----------|----------------|---------|---------------|
| 78 | 809,78 | 1361,36 | 258,21 | 286,76 | 85 | 916,33 | 1483,53 | 349,13 | 356,34 |
| 79 | 824,34 | 1378,81 | 269,86 | 295,97 | 86 | 932,52 | 1500,98 | 364,05 | 367,33 |
| 80 | 839,10 | 1396,26 | 281,94 | 305,41 | 87 | 948,97 | 1518,44 | 379,49 | 378,60 |
| 81 | 854,08 | 1413,72 | 294,46 | 315,09 | 88 | 965,69 | 1535,89 | 395,49 | 390,16 |
| 82 | 869,29 | 1431,17 | 307,40 | 325,01 | 89 | 982,70 | 1553,34 | 412,05 | 402,03 |
| 83 | 884,73 | 1448,62 | 320,83 | 335,19 | 90 | 1000 | 1570,90 | 429,20 | 414,21 |
| 84 | 900,40 | 1446,08 | 334,73 | 345,63 | - | - | - | - | - |

Примечание – Таблица 1.1 составлена для радиуса $R = 1000$ м. При иной величине радиуса данные в таблице умножают на коэффициент, равный делению принятого радиуса на 1000. Например, для радиуса 600 м данные таблицы умножают на $600 / 1000 = 0,6$, при радиусе 3000 м – на величину $3000 / 1000 = 3$.

Пример. Исходные данные: категория дороги – II; радиус круговой кривой $R = 2300$ м; угол поворота $\alpha = 13^\circ$; пикетажное положение вершины угла – пк22 + 23,40; кривая – право.

С помощью таблицы 1.1 определяем элементы кривой К, Т, Б, Д:

По формулам (1.1) и (1.2) определяем пикетажное положение основных точек закругления:

$$НЗ = (\text{пк } 22 + 23,40) - 262,06 = \text{пк } 19 + 61,34;$$

$$КЗ = (\text{пк } 19 + 61,34) + 521,85 = \text{пк } 24 + 83,19.$$

1.2 Расчет закругления, состоящего из круговой и переходных кривых

При движении по кривым малого радиуса ($R \leq 2000$ м) в целях безопасности движения и плавного нарастания центростремительного ускорения устраивают **переходную кривую**. Переходная кривая представляет собой кривую переменного радиуса (от ∞ до R) (рисунок 1.2), по которой происходит плавный поворот передних колес автомобиля, исключающий боковой толчок при въезде на круговую кривую. К л о т о и д а как математическая кривая представляет собой спираль, радиус кривизны которой непрерывно изменяется от $\rho = \infty$ в начальной точке до $\rho = 0$ в конце (строго говоря, в бесконечном удалении от начала).

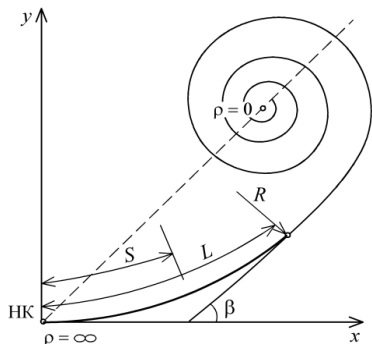


Рисунок 1.2 – Математическая кривая – клотоида

В качестве переходной кривой, или самостоятельного дорожного закругления, применяется лишь начальный участок клотоиды от $\rho = \infty$ (точка отхода от начальной прямой, которую обычно называют главной касательной) до $\rho = R$ на расстоянии L от начала клотоиды. Уравнение клотоиды или радиоидальной спирали имеет вид

$$\rho = \frac{C}{S}, \quad (1.3)$$

где ρ – радиус кривизны;

C – постоянная – параметр клотоиды,

$$C = RL = A^2; \quad (1.4)$$

R – радиус кривизны конца рассматриваемого отрезка клотоиды длиной L ;

L – длина отрезка клотоиды от ее начала до данной точки на ней, где радиус кривизны $\rho = R$;

S – расстояние от начала клотоиды до данной точки на ней.

Параметр A характеризует степень изменения кривизны клотоиды (рисунок 1.3). Длина переходной кривой

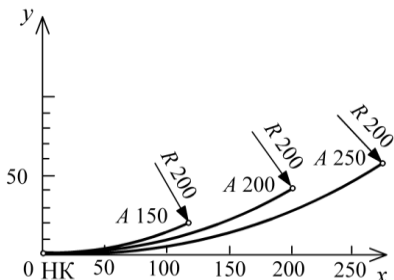
$$L = v^3 / (47RJ), \quad (1.5)$$

где v – скорость автомобиля;

R – радиус круговой кривой;

J – скорость нарастания центростремительного ускорения.

Рисунок 1.3 – Характеристика степени изменения кривизны клотоиды при помощи параметра A



Проектирование плана закругления ведут в определенной последовательности (рисунок 1.4):

- определяют пикетажное положение вершины угла пк ВУП;
- транспортиром находят величину угла поворота. По величине угла поворота и принятому радиусу по таблице 1.1 определяют K , T , B , D ;
- по таблице 1.2 в зависимости от радиуса круговой кривой и категории дороги устанавливают длину переходной кривой L ; величину угла кривой 2β ; добавочный тангенс (сдвигку кривой по оси X), t ; сдвигку круговой кривой (по оси Y), p ;
- проверяют возможность разбивки переходной кривой, т. е. соблюдается ли условие $\alpha \geq 2\beta$. Если условие не соблюдается, то необходимо радиус круговой кривой увеличить;
- определяют длину сокращенной (основной) круговой кривой K_0 , т. е. оставшейся части круговой кривой для угла $\gamma = \alpha - 2\beta$. Величину K_0 можно определить по таблице 1.1 в зависимости от угла γ и радиуса R или по формуле

$$K_0 = \frac{\pi R \gamma^\circ}{180^\circ}; \quad (1.6)$$

- рассчитывают полную длину закругления:

$$K = K_0 + 2L; \quad (1.7)$$

- вычисляют домер:

$$D = 2(T + t) - K; \quad (1.8)$$

- находят пикетажное положение основных точек закругления: начало закругления (НЗ), начало круговой кривой (НКК), конец круговой кривой (ККК) и конец закругления (КЗ):

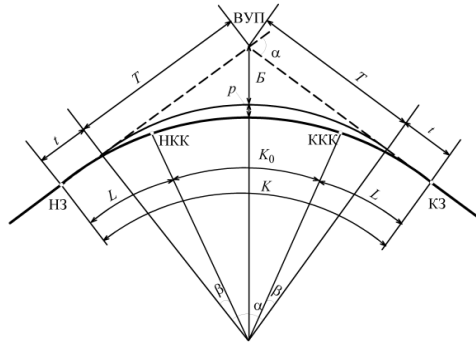
$$\text{пк НЗ} - \text{пк ВУП} - (T + t); \quad (1.9)$$

$$\text{пк НКК} - \text{пк НЗ} + l; \quad (1.10)$$

$$\text{пк ККК} - \text{пк НЗ} + l + K_0; \quad (1.11)$$

$$\text{пк КЗ} - \text{пк НЗ} + 2L + K_0. \quad (1.12)$$

Рисунок 1.4 – Разбивка закругления с симметричными переходными (клотоидными) кривыми



Пример. Исходные данные: категория дороги – II; радиус круговой кривой $R = 1200$ м; угол поворота $\alpha = 13^\circ$; пикетажное положение вершины угла – ПК 22 + 23,40; кривая – право.

По таблице 1.1 определяем элементы кривой:

По таблице 1.2 в зависимости от радиуса находим длину переходной кривой L ; величину угла кривой 2β ; добавочный тангенс (сдвигку кривой по оси X), t ; сдвигку круговой кривой (по оси Y), p : $L = 120$ м; $2\beta = 5^\circ 44'$; $t = 59,99$ м; $p = 0,60$ м.

Так как $\alpha = 13^\circ > 2\beta = 5^\circ 44'$, то разбивка переходной кривой возможна.

По формуле (1.3) определяем длину сокращенной круговой кривой

$$K_0 = \frac{3,14159 \times 1200(13^\circ - 5^\circ 44')}{180^\circ} = 152,26 \text{ м.}$$

Полную длину закругления определим по формуле (1.7):

$$K = 152,26 + 240 = 392,26 \text{ м.}$$

По формуле (1.8) определим домер:

$$D = 2 \times (136,73 + 59,99) - 392,26 = 1,18 \text{ м.}$$

Пикетажное положение основных точек закругления определим по формулам (1.9) – (1.12):

$$\begin{aligned} \text{ПК НЗ} & - (\text{ПК } 22 + 23,40) - (136,73 + 59,99) = \text{ПК } 20 + 26,68; \\ \text{ПК НКК} & - (\text{ПК } 20 + 26,68) + 120 = \text{ПК } 21 + 46,68; \\ \text{ПК ККК} & - (\text{ПК } 20 + 26,68) + 120 + 152,26 = \text{ПК } 22 + 98,94; \\ \text{ПК КЗ} & - (\text{ПК } 20 + 26,68) + 2 \cdot 120 + 152,26 = \text{ПК } 24 + 18,94. \end{aligned}$$

Таблица 1.2 – Элементы переходных кривых

| Радиус круговой кривой, м | Категория дороги | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|------------|-----------------------------------|---------------------|---|------------|-----------------------------------|---------------------|---|------------|-----------------------------------|---------------------|--|------------|-----------------------------------|---------------------|
| | I -a | | | | I-б, I-в, II, III | | | | IV, V (с дорожной одеждой усовершенствованного типа) | | | | IV, V (с дорожной одеждой переходного и низшего типов) | | | |
| | Длина переход ной кривой L, м | Угол 2β | Добаво чный тангенс t, м | Сдвигк а р, м | Длина переход ной кривой L, м | Угол 2β | Добавоч ный тангенс t, м | Сдвигк а р, м | Длина переход ной кривой L, м | Угол 2β | Добаво чный тангенс t, м | Сдвигк а р, м | Длина переход ной кривой L, м | Угол 2β | Добаво чный тангенс t, м | Сдвигк а р, м |
| 2000 | 200 | 5°43' | 100,00 | 0,83 | 200 | 5°43' | 100,00 | 0,83 | 100 | 2°52' | 50,00 | 0,21 | – | – | – | – |
| 1500 | 150 | 5°44' | 75,00 | 0,63 | 150 | 5°44' | 75,00 | 0,63 | 100 | 3°49' | 50,00 | 0,28 | – | – | – | – |
| 1200 | 160 | 7°38' | 80,00 | 0,89 | 120 | 5°44' | 59,99 | 0,60 | 100 | 4°46' | 50,00 | 0,35 | – | – | – | – |
| 1000 | 170 | 9°44' | 84,98 | 1,20 | 120 | 6°52' | 59,99 | 0,60 | 100 | 5°44' | 50,00 | 0,42 | – | – | – | – |
| 800 | 150 | 10°45' | 74,98 | 1,17 | 150 | 10°45' | 74,98 | 1,17 | 100 | 7°10' | 49,99 | 0,52 | – | – | – | – |
| 600 | – | – | – | – | 170 | 16°14' | 84,94 | 2,01 | 120 | 11°28' | 59,98 | 1,00 | 60 | 5°44' | 29,99 | 0,25 |
| 500 | – | – | – | – | 130 | 14°54' | 64,96 | 1,41 | 140 | 16°03' | 69,95 | 1,63 | 70 | 8°01' | 34,99 | 0,41 |
| 400 | – | – | – | – | – | – | – | – | 150 | 21°29' | 74,91 | 2,33 | 90 | 12°53' | 44,98 | 0,83 |
| 300 | – | – | – | – | – | – | – | – | 130 | 24°50' | 64,89 | 2,34 | 120 | 22°55' | 59,92 | 2,00 |
| 250 | – | – | – | – | – | – | – | – | 100 | 23°03' | 49,93 | 1,66 | 100 | 23°03' | 49,93 | 1,66 |
| 200 | – | – | – | – | – | – | – | – | 90 | 25°47' | 44,92 | 1,68 | 90 | 25°47' | 44,92 | 1,68 |
| 150 | – | – | – | – | – | – | – | – | 80 | 30°33' | 39,90 | 1,78 | 80 | 30°33' | 39,90 | 1,78 |
| 100 | – | – | – | – | – | – | – | – | 70 | 40°06' | 34,86 | 2,04 | 70 | 40°06' | 34,86 | 2,04 |
| 60 | – | – | – | – | – | – | – | – | 60 | 57°18' | 29,75 | 2,50 | 60 | 57°18' | 29,75 | 2,50 |
| 50 | – | – | – | – | – | – | – | – | 50 | 57°18' | 24,79 | 2,08 | – | – | – | – |
| 30 | – | – | – | – | – | – | – | – | 40 | 76°24' | 19,70 | 2,22 | – | – | – | – |

Варианты задач к подразд. 1.1 и 1.2.

1 Составить схему и произвести расчет закругления, состоящего из круговой кривой при исходных данных, приведенных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Варианты исходных данных

| Номер варианта | Категория дороги | Положение вершины угла поворота | Угол поворота У, град | Величина радиуса R, м |
|----------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | III | пк 49+00 | 25 | 3000 |
| 2 | II | пк 36+00 | 31 | 2500 |
| 3 | III | пк 32+00 | 15 | 2600 |
| 4 | II | пк 42+00 | 23 | 2500 |

2 Составить схему и произвести расчет закругления, состоящего из круговой и симметричных переходных кривых при исходных данных, приведенных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Варианты исходных данных

| Номер варианта | Категория дороги | Положение вершины угла поворота | Угол поворота У, град | Величина радиуса R, м |
|----------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 5 | II | пк 39+00 | 32 | 1200 |
| 6 | III | пк 45+00 | 44 | 1000 |
| 7 | II | пк 42+00 | 35 | 1500 |
| 8 | IV | пк 28+00 | 37 | 600 |
| 9 | III | пк 39+00 | 32 | 1200 |
| 10 | II | пк 25+00 | 33 | 1000 |
| 11 | IV | пк 29+00 | 34 | 1500 |
| 12 | III | пк 36+00 | 35 | 1200 |
| 13 | II | пк 28+00 | 36 | 800 |
| 14 | IV | пк 62+00 | 37 | 600 |
| 15 | III | пк 12+00 | 38 | 1000 |
| 16 | II | пк 19+00 | 39 | 1200 |
| 17 | IV | пк 26+00 | 40 | 1500 |
| 18 | III | пк 34+00 | 52 | 1000 |
| 19 | II | пк 38+00 | 28 | 800 |

3 Составить схему и определить радиус и длину закругления, состоящего из круговой и симметричных переходных кривых при исходных данных, приведенных в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Варианты исходных данных

| Номер варианта | Категория дороги | Положение вершины угла поворота | Угол сокращенной круговой кривой γ , град | Полный тангенс закругления $(T + t)$, м | Длина переходной кривой L, м | Добавочный тангенс t, м | Угол переходной кривой 2β , град |
|----------------|------------------|---------------------------------|--|--|------------------------------|-------------------------|--|
| 20 | III | пк 39+00 | 25°08' | 406,73 | 120 | 59,99 | 6°52' |
| 21 | II | пк 41+00 | 29°16' | 498,34 | 120 | 59,99 | 5°44' |

Окончание таблицы 1.5

| Номер варианта | Категория дороги | Положение вершины угла поворота | Угол сокращенной круговой кривой γ , град | Полный тангенс закругления $(T + t)$, м | Длина переходной кривой L , м | Добавочный тангенс t , м | Угол переходной кривой 2β , град |
|----------------|------------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------|----------------------------|--|
| 22 | IV | пк 42+00 | 27°14' | 410,76 | 100 | 50,00 | 4°46' |
| 23 | III | пк 28+00 | 21°16' | 434,93 | 150 | 75,00 | 5°44' |
| 24 | II | пк 39+00 | 41°46' | 352,07 | 170 | 84,94 | 16°14' |
| 25 | IV | пк 25+00 | 27°50' | 302,22 | 100 | 49,99 | 7°10' |
| 26 | III | пк 29+00 | 46°06' | 359,47 | 130 | 64,96 | 14°54' |
| 27 | II | пк 36+00 | 6°17' | 310,20 | 200 | 100,00 | 5°43' |

4 Составить схему и определить радиус и тангенс закругления, состоящего из круговой и симметричных переходных кривых при исходных данных, приведенных в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Варианты исходных данных

| Номер варианта | Категория дороги | Положение вершины угла поворота | Угол сокращенной круговой кривой γ , град | Полная длина закругления K , м | Длина переходной кривой L , м | Добавочный тангенс t , м | Угол переходной кривой 2β , град |
|----------------|------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| 28 | II | пк 35+00 | 23°16' | 727,38 | 120 | 59,99 | 5°44' |
| 29 | III | пк 32+00 | 29°08' | 746,88 | 120 | 59,99 | 6°52' |
| 30 | IV | пк 62+00 | 24°14' | 807,36 | 100 | 50,00 | 4°46' |
| 31 | III | пк 12+00 | 19°16' | 954,48 | 150 | 75,00 | 5°44' |
| 32 | II | пк 19+00 | 38°46' | 915,94 | 170 | 84,94 | 16°14' |
| 33 | IV | пк 26+00 | 30°50' | 730,56 | 100 | 49,99 | 7°10' |
| 34 | III | пк 34+00 | 43°06' | 766,13 | 130 | 64,96 | 14°54' |
| 35 | II | пк 38+00 | 9°17' | 923,58 | 200 | 100,00 | 5°43' |

1.3 Расчет клотоидного закругления

В настоящее время при проектировании автодорог широко применяется **клотоидное закругление** – закругление, состоящее из двух или нескольких переходных кривых.

По сравнению с традиционной трассой дороги для клотоидной трассы характерно наличие существенно большего числа типов закруглений, которые к тому же являются предельно гибкими и которые поэтому легко приспособлять к конкретным особенностям рельефа и ситуации местности [9]:

- биклотоида симметричная при $A_1 = A_2$ (A – параметр клотоиды); несимметричная $A_1 \neq A_2$ (рисунок 1.5, а);
- биклотоида с круговой вставкой, симметричная при $A_1 = A_2$; несимметричная $A_1 \neq A_2$ (рисунок 1.5, б);
- коробовая (составная) клотоида (рисунок 1.5, в);

- комбинированное закругление (рисунок 1.5, з).

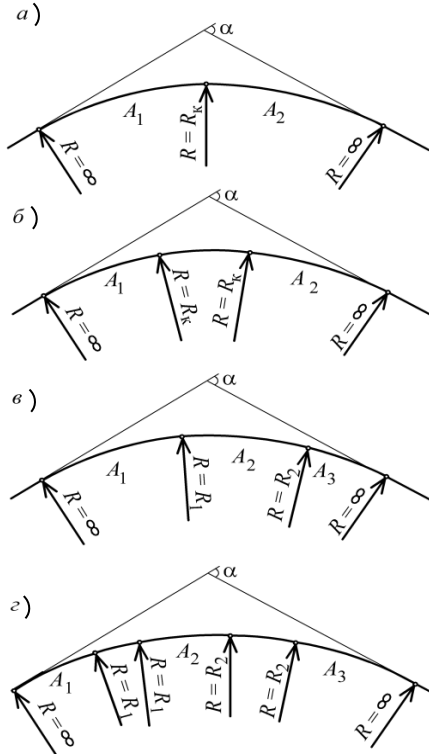


Рисунок 1.5 – Типы закруглений
клотоидной трассы:
а – биклотоида; б – биклотоида с круговой
вставкой; в – коробовая клотоида; з –
комбинированное закругление

Расчет клотоидного закругления выполняется с использованием специальных таблиц для проектирования и разбивки клотоидной трассы [8].
Переходные кривые по клотоиде характеризуются: углом поворота трассы α , углом клотоиды β , длиной клотоиды L , тангенсом клотоиды T , радиусом R , параметром клотоиды $A = \sqrt{RL}$.

При проектировании клотоидной трассы должно быть выдержано определенное соотношение между радиусом кривизны конца клотоиды R и ее длиной L , чтобы нарастание центростремительного ускорения было не более определенной нормированной величины (0,5–0,6 м/с³) и в исключительных случаях при соответствующих технико-экономических обоснованиях составляло не более 1 м/с³. При назначении радиуса R исходят из категории проектируемой дороги с тем, чтобы обеспечить расчетную скорость движения автомобилей.

В зависимости от расчетных скоростей рекомендуются следующие минимальные значения параметра клотоиды $A = \sqrt{RL}$ [8]:

Расчетная скорость v , км/ч . . . 60 80 100 120 140

Минимальное значение A . . . 100 150 200 350 500

Для удобства это соотношение представлено в графической форме в виде совмещенной номограммы с некоторым расширением пределов расчетных скоростей (рисунок 1.6). На номограмме приведена минимально допустимая для данного радиуса длина переходной кривой, соответствующие скорости движения автомобиля, а также величина нарастания центростремительного ускорения I .

Определив по таблице 1.2 в соответствии с заданной величиной радиуса R длину клотоиды L , следует по номограмме (рисунок 1.6) проверить допустимость принятого соотношения R и L и в случае необходимости перепроектировать клотоиду.

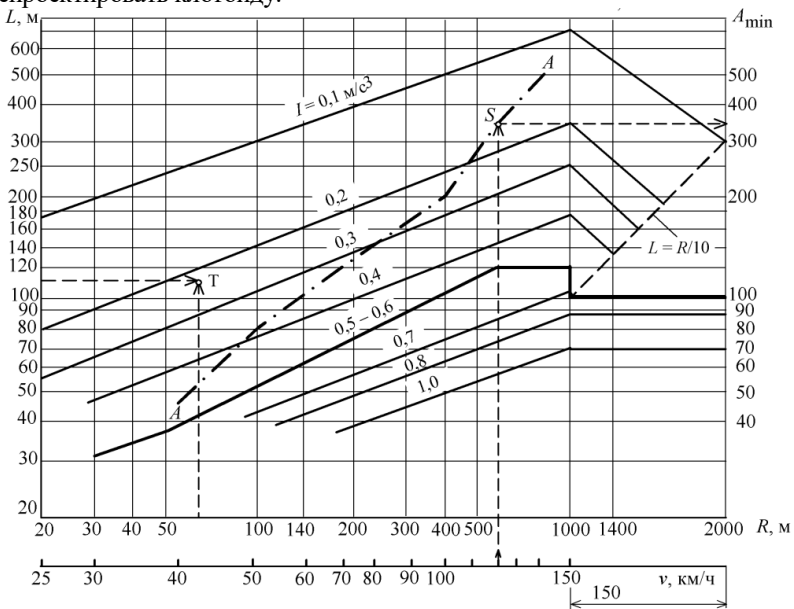


Рисунок 1.6 – Номограмма для определения соотношений параметра A

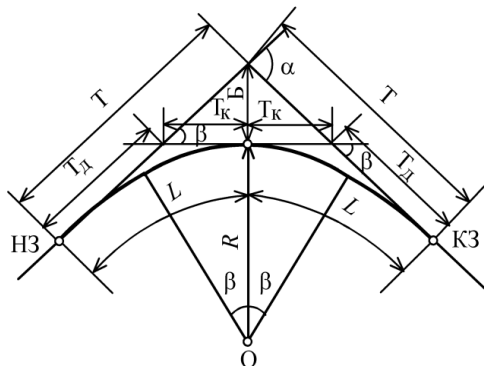
Например, при заданных $R = 65$ м и $L = 110$ м по номограмме находим $I = 0,24$ м/с³ (точка T) или по заданной величине $v = 120$ км/ч определяем $A = 350$ (точка S). Необходимо задаваться такими значениями R и L , чтобы точка T пересечения координат была не ниже линии $I = 0,5 \dots 0,6$ м/с³ и в исключительных случаях – не ниже линии $I = 1,0$ м/с³.

1.3.1 Расчет симметричного клотоидного закругления

Схема к расчету такого закругления представлена на рисунке 1.7.

Рисунок 1.7 – Схема симметричного клотоидного закругления:

T – тангенс клотоиды; T_k и T_d – соответственно короткие и длинные тангенсы клотоиды; L – длина клотоиды; β – угол клотоиды; R – радиус клотоиды



Расчет такого закругления производят в следующей последовательности:

- определяют пикетажное положение вершины угла пк ВУП;
- находят величину угла поворота α транспортиром;
- вычисляют угол β по формуле

$$\beta = \alpha/2; \quad (1.13)$$

- по величине угла клотоиды β (в радианах) и принятому радиусу кривой R определяют элементы клотоиды: полный тангенс T , тангенс длинный T_d , короткий T_k , p , полную длину закругления K , домер D и длину клотоиды L по формулам:

(1.1
4)

$$T = R \left[\left(\frac{2}{3} \beta^2 - \frac{\beta^4}{21} + \frac{\beta^6}{660} \right) \operatorname{tg} \beta + 2\beta - \frac{\beta^3}{5} + \frac{\beta^5}{108} \right];$$

$$\left. \begin{aligned} K &= 2R\alpha \\ K &= 4R\beta \end{aligned} \right\} \quad (1.1 \quad 5)$$

$$D = 2T - K; \quad (1.1 \quad 6)$$

$$B = R \left[\frac{1}{\cos \beta} \left(\frac{2}{3} \beta^2 - \frac{\beta^4}{21} + \frac{\beta^6}{660} \right) \right]; \quad (1.1 \quad 7)$$

$$\rho = R \left[\frac{2}{3} \beta^2 - \frac{\beta^4}{21} + \frac{\beta^6}{660} + \cos \beta - 1 \right]; \quad (1.1 \quad 8)$$

(1.1
9)

(1.2
0)

$$L = 2R\beta; \quad (1.2
1)$$

- устанавливают пикетажное положение основных точек закругления: начало закругления (НЗ) и конец закругления (КЗ) определяют по формулам

$$\text{пк НЗ} = \text{пк ВУП} - T; \quad (1.22)$$

$$\text{пк КЗ} = \text{пк НЗ} + K + Д. \quad (1.23)$$

Пример. Исходные данные: категория дороги – II; радиус круговой кривой $R = 2000$ м; угол поворота $\alpha = 54^\circ$; пикетажное положение вершины угла – ПК 22+40; кривая – право.

Расчет производим в последовательности, указанной выше.

$$\beta = 54^\circ/2 = 27^\circ + 0,471 \text{ рад};$$

$$T = 2000 \left[\left(\frac{2}{3} \cdot 0,471^2 - \frac{0,471^4}{21} + \frac{0,471^6}{660} \right) \text{tg} 27^\circ + 2 \cdot 0,471 - \frac{0,471^3}{5} + \frac{0,471^5}{108} \right] = 1992,02 \text{ м};$$

$$\left. \begin{aligned} K &= 2 \cdot 2000 \cdot 0,942 = 3769,91 \text{ м}; \\ K &= 4 \cdot 2000 \cdot 0,471 = 3769,91 \text{ м}; \end{aligned} \right\}$$
$$Д = 2 \cdot 1992,02 - 3769,91 = 214,12 \text{ м};$$

$$\rho = 2000 \cdot \left[\frac{2}{3} \cdot 0,471^2 - \frac{0,471^4}{21} + \frac{0,471^6}{660} + \cos 27^\circ - 1 \right] = 73,44 \text{ м};$$

$$= 1127,46 \text{ м};$$

$$L = 2 \cdot 2000 \cdot 0,471 = 1884,96 \text{ м};$$

$$\text{пк НЗ} = (\text{пк 22} + 40) - 1992,02 = \text{пк 2} + 47,98;$$

$$\text{пк КЗ} = (\text{пк 2} + 47,98) + 3769,91 + 214,12 = \text{пк 42} + 32,01.$$

Задачи.

Рассчитать симметричное клотоидное закругление по данным, приведенным в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Варианты для расчета симметричной клотоиды

| Номер варианта | Радиус круговой кривой R, м | Угол поворота α , град | пк ВУ | Направление поворота |
|----------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|----------------------|
| 1 | 100 | 70 | 36 + 55 | Право |
| 2 | 200 | 62 | 24 + 50 | Лево |
| 3 | 500 | 44 | 61 + 10 | Право |
| 4 | 1000 | 16 | 45 + 20 | Лево |
| 5 | 1200 | 18 | 45 + 65 | Право |
| 6 | 1500 | 20 | 20 + 00 | Лево |
| 7 | 2000 | 16 | 78 + 50 | Право |
| 8 | 500 | 24 | 56 + 20 | Лево |
| 9 | 100 | 78 | 32 + 10 | Право |
| 10 | 200 | 80 | 18 + 55 | Лево |
| 11 | 1000 | 40 | 91 + 60 | Право |
| 12 | 1500 | 26 | 41 + 00 | Лево |
| 13 | 1200 | 32 | 12 + 15 | Право |
| 14 | 2000 | 20 | 16 + 00 | Лево |
| 15 | 2000 | 40 | 26 + 50 | Право |
| 16 | 1500 | 42 | 75 + 00 | Лево |
| 17 | 1200 | 38 | 24 + 65 | Право |
| 18 | 1000 | 50 | 65 + 45 | Лево |
| 19 | 500 | 74 | 100 + 00 | Право |
| 20 | 200 | 86 | 95 + 90 | Лево |
| 21 | 100 | 72 | 44 + 40 | Право |
| 22 | 500 | 60 | 32 + 30 | Лево |

Окончание таблицы 1.7

| Номер варианта | Радиус круговой кривой R , м | Угол поворота α , град | пк ВУ | Направление поворота |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|---------|----------------------|
| 23 | 200 | 82 | 33 + 40 | Право |
| 24 | 1500 | 48 | 55 + 25 | Лево |
| 25 | 1200 | 54 | 52 + 45 | Право |
| 26 | 100 | 78 | 53 + 35 | Лево |
| 27 | 1000 | 40 | 53 + 30 | Право |
| 28 | 2000 | 30 | 63 + 45 | Лево |
| 29 | 1500 | 46 | 78 + 70 | Право |
| 30 | 100 | 80 | 64 + 50 | Лево |
| 31 | 500 | 36 | 16 + 50 | Право |
| 32 | 200 | 62 | 54 + 25 | Лево |
| 33 | 1200 | 40 | 25 + 00 | Право |
| 34 | 1500 | 12 | 46 + 65 | Лево |
| 35 | 500 | 46 | 10 + 00 | Право |

1.3.2 Расчет несимметричного клотоидного закругления

Схема к расчету представлена на рисунке 1.8.

Для расчета такого закругления в качестве исходных данных необходимо иметь три элемента несимметричной биклотоиды; стыкового радиуса R_{\min} и одной из пар: β_1, β_2 ; β_1, α ; β_2, α ; β_1, L_1 ; β_2, L_2 , а также L_1, L_2 и α .

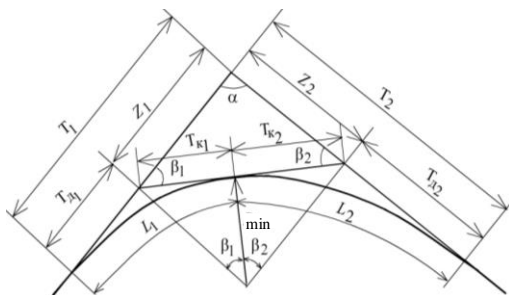


Рисунок 1.8 – Схема несимметричного клотоидного закругления: T_1 и T_2 – тангенсы первой и второй клотоид; T_{k1}, T_{k2} и T_{d1}, T_{d2} – соответственно короткие и длинные тангенсы клотоид; L_1 и L_2 – длины клотоид; β_1, β_2 – углы клотоид; R_{\min} – радиус клотоид

Расчет ведется в следующей последовательности: из рисунка 1.8 имеем $\beta_1 + \beta_2 = \alpha$ (в радианах). Углы β_1 и β_2 определяются по формуле

$$\frac{L_1}{2R} = \beta_1; \frac{L_2}{2R} = \beta_2. \quad (1.24)$$

Тогда

$$\frac{L_1}{2R} \rho + \frac{L_2}{2R} \rho = \alpha \quad (\text{в градусах}),$$

где $\rho = \frac{180}{\pi} = 57,3$;

(1.25)

(1.26)

(1.27)

α – угол поворота трассы, град.

Длину тангенсов T_1 и T_2 несимметричной биклотоиды определяют по формулам

(1.28)

(1.29)

где z_1 и z_2 – расстояние от вершины угла поворота до T_1 и T_2 соответственно (рисунок 1.8),

(1.30
)

(1.31
)

Тогда

(1.3
2)

(1.3
3)

где T_1 и T_2 – соответственно длинные и короткие тангенсы сопряженных клотоид, которые определяются по таблицам, приведенным в справочнике [8], в сокращенном виде они представлены в приложении.

Длина клотоидного закругления

(1.34
)

Для определения величины домера используют следующую формулу:

$$D = (T_1 + T_2) - K. \quad (1.35)$$

Пикетажное положение основных точек закругления: начало закругления (НЗ) и конец закругления (КЗ) определяют по формулам

$$\text{пк НЗ} = \text{пк ВУП} - T_1; \quad (1.36)$$

$$\text{пк КЗ} = \text{пк НЗ} + K + D. \quad (1.37)$$

Примеры.

1 Исходные данные: категория дороги – III; угол поворота трассы $\alpha = 70^\circ 30'$; длина первой клотоиды $L_1 = 120$ м, второй клотоиды $L_2 = 80$ м; пикетажное положение вершины угла – ПК 40 + 50; кривая – право (см. рисунок 1.8).

Стыковой радиус этой несимметричной биклотоиды определяем по формуле (1.27)

Определяем углы поворота клотоид по формуле (1.24):

$$\beta_1 = \frac{L_1}{2R} = \frac{120}{2 \cdot 81,3} = 0,73801, \text{ или } \beta_1 = 42^\circ 17';$$

$$\beta_2 = \frac{L_2}{2R} = \frac{80}{2 \cdot 81,3} = 0,49200, \text{ или } \beta_2 = 28^\circ 13'.$$

Углы β_1 и β_2 округляем в большую сторону с точностью до 15', т. е. принимаем $\beta_1 = 42^\circ 30'$ и $\beta_2 = 28^\circ 15'$.

По таблице 1 (см. приложение А) определяем элементы первой клотоиды при $\beta_1 = 42^\circ 30'$ и $R_{\min} = 81,3$ м и второй клотоиды при $\beta_2 = 28^\circ 15'$ и $R_{\min} = 81,3$ м:

По формулам (1.32) и (1.33) рассчитываем тангенсы закругления:

Длину закругления и величину домера определяем по формулам (1.34) и (1.35):

$$K = 120 + 80 = 200 \text{ м}; D = 117,86 + 103,37 - 200 = 21,23 \text{ м}.$$

Пикетажное положение основных точек закругления: начало закругления (НЗ) и конец закругления (КЗ) определяется по формулам (1.36) и (1.37):

$$\begin{aligned} \text{НЗ} &= \text{пк } (40 + 50) - 117,86 = \text{пк } 39 + 32,14; \\ \text{КЗ} &= \text{пк } (39 + 32,14) + 200 + 21,23 = \text{пк } 41 + 53,37. \end{aligned}$$

2 Исходные данные: категория дороги – III; угол поворота трассы $\alpha = 70^\circ 30'$; длина первой клотоиды $L_1 = 105$ м, угол первой клотоиды $\beta_1 = 22^\circ$, или $\beta_1 = 0,38397$ рад, пикетажное положение вершины угла – ПК 30 + 50; кривая – право (см. рисунок 1.8).

Прежде всего определяем стыковой радиус R_{\min} [см. формулу (1.27)], который является общим для первой и второй клотоид:

По таблице 2 (см. приложение А) при $\beta_1 = 22^\circ$ и $R = 136,7$ м

определяем и :

Определяем угол второй клотоиды β_2 :

$$\beta_2 = \alpha - \beta_1 = 80^\circ - 22^\circ = 58^\circ = 1,01229.$$

По формуле (1.26) определяем длину второй клотоиды L_2 :

При известных $\beta_2 = 58^\circ$ и $R = 136,7$ м по таблице 2 (см. приложение А)

определяем и :

По формулам (1.32) и (1.33) рассчитываем тангенсы закругления:

Длину закругления и величину домера определяем по формулам (1.34) и (1.35):

$$K = 105 + 276,82 = 381,82 \text{ м}; D = 189,20 + 247,91 - 381,82 = 55,29 \text{ м}.$$

Пикетажное положение основных точек закругления: начало закругления (НЗ) и конец закругления КЗ определяется по формулам (1.36) и (1.37):

$$\text{НЗ} = \text{пк } (30 + 50) - 189,20 = \text{пк } 28 + 60,80;$$

$$\text{КЗ} = \text{пк } (28 + 60,80) + 381,82 + 55,29 = \text{пк } 32 + 97,91.$$

Задачи

Рассчитать несимметричное клотоидное закругление по данным, приведенным в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Варианты для расчета несимметричной клотоиды

| Номер варианта | Категория дороги | Угол поворота α , град | ПК ВУ | Длина первой переходной клотоиды L_1 , м | Длина второй переходной клотоиды L_2 , м | Угол первой клотоиды, β , град | Направление поворота |
|----------------|------------------|-------------------------------|-------|--|--|--------------------------------------|----------------------|
| 1 | III | 56°30' | 36+55 | 100 | | 20° | Право |
| 2 | II | 76° | 24+50 | 105 | | 21° | Лево |
| 3 | I | 70° | 61+10 | 110 | | 22° | Право |
| 4 | III | 68° | 45+20 | 115 | | 23° | Лево |
| 5 | II | 80°30' | 45+65 | 120 | | 24° | Право |
| 6 | I | 72° | 20+00 | 125 | | 25° | Лево |

Окончание таблицы 1.8

| Номер | Категория | Угол | ПК ВУ | Длина | Длина | Угол | Направл |
|-------|-----------|------|-------|-------|-------|------|---------|
|-------|-----------|------|-------|-------|-------|------|---------|

| вариант а | дороги | поворота α, град | | первой переходной клотоиды L ₁ , м | второй переходной клотоиды L ₂ , м | первой клотоиды, β, град | ение поворота |
|-----------|--------|------------------|--------|---|---|--------------------------|---------------|
| 7 | Ш | 64° | 78+50 | 130 | | 26° | Право |
| 8 | П | 57° | 56+20 | 100 | | 27° | Лево |
| 9 | И | 68° | 32+10 | 105 | | 28° | Право |
| 10 | Ш | 61°30' | 18+55 | 110 | | 30° | Лево |
| 11 | П | 48° | 91+60 | 115 | | 31° | Право |
| 12 | И | 57°30' | 41+00 | 120 | | 32° | Лево |
| 13 | Ш | 65° | 12+15 | 125 | | 33° | Право |
| 14 | Ш | 60° | 16+00 | 130 | | 34° | Право |
| 15 | П | 50° | 26+50 | 100 | | 35° | Лево |
| 16 | И | 79°30' | 75+00 | 105 | 65 | | Право |
| 17 | Ш | 49° | 24+65 | 110 | 70 | | Лево |
| 18 | П | 53°30' | 65+45 | 115 | 75 | | Право |
| 19 | И | 66° | 100+00 | 120 | 80 | | Лево |
| 20 | Ш | 67° | 95+90 | 125 | 85 | | Право |
| 21 | П | 68° | 44+40 | 130 | 90 | | Лево |
| 22 | И | 82°30' | 32+30 | 100 | 60 | | Право |
| 23 | Ш | 76° | 33+40 | 105 | 65 | | Лево |
| 24 | П | 53° | 55+25 | 110 | 70 | | Право |
| 25 | И | 63° | 52+45 | 115 | 75 | | Лево |
| 26 | Ш | 89°30' | 53+35 | 120 | 80 | | Право |
| 27 | П | 80° | 53+30 | 125 | 85 | | Лево |
| 28 | И | 77° | 63+45 | 130 | 90 | | Право |
| 29 | Ш | 75°30' | 78+70 | 100 | 60 | | Лево |
| 30 | П | 72° | 64+50 | 105 | 65 | | Право |
| 31 | И | 69° | 16+50 | 110 | 70 | | Лево |
| 32 | Ш | 60°30' | 54+25 | 115 | 75 | | Право |
| 33 | П | 55° | 25+00 | 120 | 80 | | Лево |
| 34 | И | 59°30' | 46+65 | 125 | 85 | | Право |
| 35 | Ш | 64° | 10+00 | 130 | 90 | | Лево |

1.4 Расчет серпантинны

При трассировании дорог в горной местности широко применяется закругление в виде серпантинны. **Серпантинна** – это кривая, описанная с внешней стороны угла поворота между двумя ее направлениями, сходящимися под острым углом. Серпантинны характеризуются применением кривых минимальных радиусов, большими углами поворота трассы и сильным ее удлинением, что предопределяет снижение скоростей, безопасности движения и перепробеги автомобилей. Поэтому, как правило, более предпочтительным

является вариант трассы, имеющий возможно меньшее число серпантин. Серпантины можно устраивать только на автомобильных дорогах II – V категорий. Расстояние между концом вспомогательной кривой одной серпантины и началом вспомогательной кривой другой серпантины принимается не менее 400 м для дорог II и III категорий, 300 м для дорог IV категории и 200 м – V категории [9].

Основными элементами серпантины являются (см. рисунки 1.9 и 1.10):

- основная кривая с углом γ и радиусом R ;
- вспомогательные кривые с углом β и радиусом r ;
- прямая вставка – m ;
- шейка серпантины – АВ.

Серпантины могут быть I рода – симметричные, у которых обратные кривые расположены выпуклостью в разные стороны (рисунок 1.9) и II рода – со смещенным центром основной кривой и обратными кривыми, описанными дугами разных радиусов (рисунок 1.10).

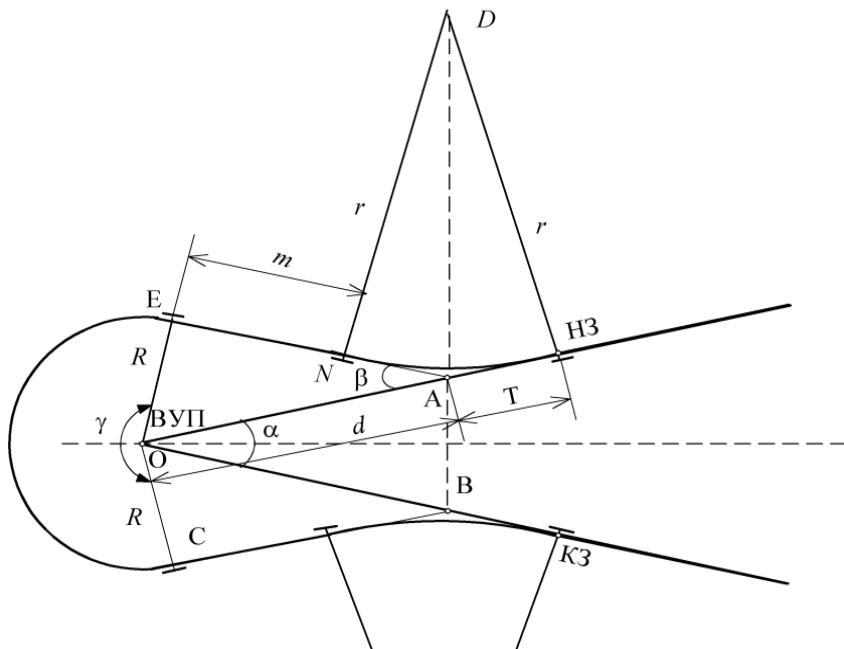


Рисунок 1.9 – Симметричная серпантина I рода

(1.38)

Из прямоугольного треугольника NDA:

(1.39)

откуда

$$T = r \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \quad (1.40)$$

При подстановке (1.40) в (1.39) получится следующее выражение:

(1.41)

Выразим $\operatorname{tg} \beta$ через $\operatorname{tg} \beta / 2$ с использованием известной формулы тригонометрии:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}. \quad (1.42)$$

Подстановка выражения (1.42) в (1.41) приведет к следующей зависимости:

(1.43)

Преобразование формулы (1.43) приведет к квадратному уравнению

Полученное квадратное уравнение решается следующим образом:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-m + \sqrt{m^2 + (2r + R)r}}{2r + R}. \quad (1.44)$$

Вычислив угол β и зная величину r вспомогательной кривой по таблице 1.1, определяются элементы вспомогательной кривой: K_0 , T , B .

Из треугольника OAE находится расстояние от вершины A вспомогательной кривой до центра O основной кривой:

$$OA = d = R / \sin\beta. \quad (1.45)$$

Полная длина серпантинны

$$S = 2(K_0 + m) + K, \quad (1.46)$$

где K – длина основной кривой, м,

$$(1.47)$$

Угол основной кривой

$$\gamma = 360 - \alpha - 2(90 - \beta). \quad (1.48)$$

Пикетное положение основных точек закругления: начала закругления (НЗ), начало основной кривой (НКО), конец основной кривой (ККО) и конец закругления (КЗ) определяется по формулам:

$$\text{пк НЗ} = \text{пк ВУП} - d - T; \quad (1.49)$$

$$\text{пк НКО} = \text{пк НЗ} + K_0 + m; \quad (1.50)$$

$$\text{пк ККО} = \text{пк НКО} + K; \quad (1.51)$$

$$\text{пк ККО} = \text{пк 31} + 61,72 + 194,60 = \text{пк 33} + 56,32.$$

$$\text{пк КЗ} = \text{пк 33} + 56,32 + 10,00 + 30,37 = \text{пк 33} + 96,69.$$

Задачи

Рассчитать элементы симметричной серпантинны I рода при исходных данных, приведенных в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Исходные данные по вариантам

| Номер варианта | Угол поворота трассы α , град | Радиус основной кривой R , м | Радиус вспомогательной кривой r , м | пк ВУ | Прямая вставка m , м |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------------|
| 1 | 15 | 100 | 40 | 35 + 40 | 10 |
| 2 | 16 | 95 | 50 | 43 + 30 | 15 |
| 3 | 17 | 90 | 60 | 33 + 40 | 20 |
| 4 | 18 | 85 | 70 | 55 + 25 | 25 |
| 5 | 19 | 80 | 80 | 52 + 45 | 30 |

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|---------|----|
| 6 | 20 | 75 | 90 | 53 + 35 | 30 |
| 7 | 21 | 70 | 100 | 53 + 30 | 25 |
| 8 | 22 | 65 | 40 | 63 + 45 | 20 |
| 9 | 23 | 60 | 50 | 33 + 30 | 15 |
| 10 | 24 | 55 | 60 | 38 + 55 | 10 |
| 11 | 25 | 50 | 70 | 53 + 25 | 10 |
| 12 | 26 | 100 | 80 | 25 + 60 | 15 |
| 13 | 27 | 95 | 90 | 41 + 00 | 20 |
| 14 | 28 | 90 | 100 | 36 + 55 | 25 |
| 15 | 29 | 85 | 40 | 24 + 50 | 30 |

Окончание таблицы 1.9

| Номер варианта | Угол поворота трассы α , град | Радиус основной кривой R , м | Радиус вспомогательной кривой r , м | пк ВУ | Прямая вставка m , м |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------|------------------------|
| 16 | 30 | 80 | 50 | 61 + 10 | 30 |
| 17 | 31 | 75 | 60 | 45 + 20 | 25 |
| 18 | 32 | 70 | 70 | 20 + 50 | 20 |
| 19 | 33 | 65 | 80 | 15 + 60 | 15 |
| 20 | 34 | 60 | 90 | 7 + 50 | 10 |
| 21 | 35 | 55 | 100 | 18 + 90 | 10 |
| 22 | 36 | 50 | 40 | 27 + 30 | 15 |
| 23 | 37 | 100 | 50 | 30 + 50 | 20 |
| 24 | 38 | 95 | 60 | 55 + 00 | 25 |
| 25 | 39 | 90 | 70 | 40 + 50 | 30 |
| 26 | 40 | 85 | 80 | 16 + 00 | 30 |
| 27 | 40 | 80 | 90 | 26 + 50 | 25 |
| 28 | 39 | 75 | 100 | 75 + 00 | 20 |
| 29 | 38 | 70 | 40 | 45 + 60 | 15 |
| 30 | 37 | 65 | 50 | 74 + 55 | 10 |
| 31 | 36 | 60 | 60 | 12 + 00 | 10 |
| 32 | 35 | 55 | 70 | 54 + 25 | 15 |
| 33 | 34 | 50 | 80 | 25 + 00 | 20 |
| 34 | 33 | 100 | 90 | 46 + 65 | 25 |
| 35 | 32 | 95 | 100 | 10 + 00 | 30 |

1.5 Расчет элементов виража

При движении по кривой с двускатным профилем проезжей части условия устойчивости для автомобилей, идущих в разных направлениях, неодинаковы. Для улучшения условий движения на кривых радиусом менее 3000 м на дорогах I категории и менее 2000 м [1] на дорогах остальных категорий требуется устройство односкатного поперечного профиля – виража. Переход от двускатного профиля к односкатному и обратно

осуществляется в пределах переходной кривой, при этом могут быть применены **два способа**:

а) продольный уклон по внутренней кромке проезжей части сохраняется, а крутизна всего односкатного профиля увеличивается вращением его вокруг внутренней кромки проезжей части (рисунок 1.11, а);

б) продольный уклон по оси дороги сохраняется, а увеличение поперечного уклона производится вращением поверхности проезжей части вокруг ее оси (рисунок 1.11, б).

Длины переходных кривых приведены в таблице 1.2, уклоны на виражах – в таблице 1.10.

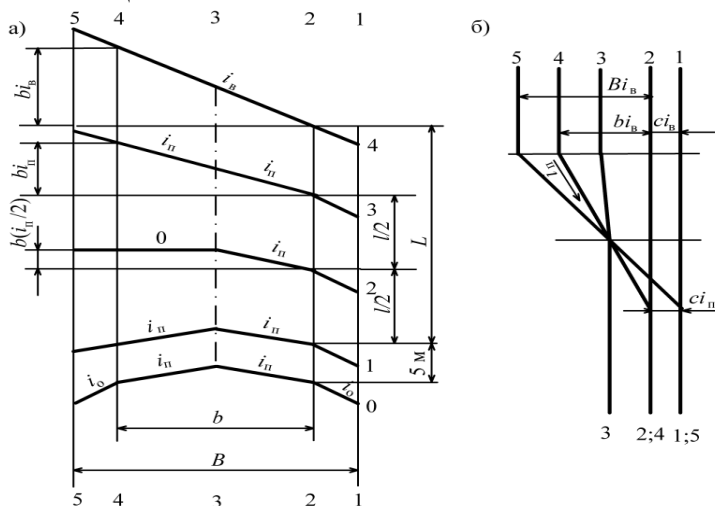


Рисунок 1.11 – Устройство виража на кривых:

- а – вращением проезжей части вокруг ее внутренней кромки;
- б – вращением проезжей части вокруг ее оси

На дорогах Республики Беларусь наиболее распространенным способом устройства виража является второй. При данном способе переход от двускатного поперечного профиля к односкатному осуществляется путем вращения внешней половины верха земляного полотна вокруг оси проезжей части до достижения односкатного поперечного профиля с уклоном, равным уклону проезжей части при двускатном профиле, затем вращением всего верха земляного полотна вокруг оси проезжей части до необходимой величины поперечного уклона на вираже.

Таблица 1.10 – Уклоны виража

| Уклон виража $i_v, \%$ | Минимальный радиус круговой кривой, м, соответствующий уклону виража, для дорог категорий | | | |
|------------------------|---|-----------------|-----------------|---------------------|
| | I-а | I-б, I-в, II-IV | V (с дорожными) | IV, V (с дорожными) |
| | | | | |

| | | | одеждами капитального и облегченного типов) | одеждами переходного и низшего типов) |
|---------|------|-----|--|--|
| 20 (25) | 1330 | 850 | 540 | – |
| 30 | 1240 | 800 | 510 | 300 |
| 40 | 1150 | 750 | 480 | 280 |
| 50 | 1060 | 700 | 450 | 260 |

В пределах участков кривых с радиусом 500 м и менее (для дорог V категории – 300 м и менее) следует предусматривать уширение проезжей части за счет обочины, значение которого приводится в таблице 8 [1]. Уширение производится с внутренней стороны закругления, ширина обочины при этом должна быть не менее 1 м. Отгон уширения выполняется на участках длиной 20 м, прилегающих к точке закругления.

Условный дополнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части определяется по формуле [4]

$$i_{\text{д}} = \frac{0,5b(i_{\text{п}} + i_{\text{в}})}{L}, \quad (1.53)$$

где b – ширина проезжей части, м;

$i_{\text{п}}, i_{\text{в}}$ – поперечные уклоны проезжей части на прямом участке дороги и на вираже соответственно, ‰;

L – длина переходной кривой, м.

Если $i_{\text{д}} < 3$ ‰, то на участке перехода от двускатного поперечного профиля к односкатному с уклоном, равным уклону проезжей части на прямолинейном участке, создается дополнительный продольный уклон $i_{\text{д}} = 3$ ‰. Длина участка перехода от двускатного поперечного профиля к односкатному с уклоном, равным уклону проезжей части на прямолинейном участке, рассчитывается по формуле

$$x = \frac{(bi_{\text{п}})}{i_{\text{д}}}. \quad (1.54)$$

Отгон виража на участке x производится прямо пропорционально его длине. Поперечный уклон обочины и проезжей части с внешней стороны закругления на участке x [4]

$$i = \frac{(2Si_{\text{п}})}{x} - i_{\text{п}}, \quad (1.55)$$

где S – расстояние от начала переходной кривой до рассматриваемого сечения, м.

На оставшейся части переходной кривой отгон виража осуществляется прямо пропорционально ее длине. Поперечный уклон на всей ширине земляного полотна

$$i = \frac{(S - x)(i_n - i_n)}{(L - x)} + i_n. \quad (1.56)$$

Поперечный уклон внутренней обочины равен расчетному уклону, но не менее уклона обочины на прямолинейном участке.

Уширение проезжей части в любом сечении

$$\Delta b' = \frac{(S \Delta b)}{L}, \quad (1.57)$$

где Δb – уширение проезжей части на круговой кривой при движении одиночного автомобиля, м [1].

Ширина внутренней обочины

$$c'' = c - \Delta b'. \quad (1.58)$$

Превышение оси над бровкой земляного полотна в любом сечении

$$H_0 = ci_0 + 0,5bi_n, \quad (1.59)$$

где i_0 – поперечный уклон обочины проезжей части на прямолинейном участке [1].

На участке x превышение внутренней кромки проезжей части

$$H_C = H_0 - i_n(0,5b + \Delta b'). \quad (1.60)$$

Превышение внутренней бровки

$$H_D = H_C - ic''. \quad (1.61)$$

Если уклон виража в заданном сечении меньше уклона обочины, то превышение внутренней бровки

$$H_D = H_C - i_0c''. \quad (1.62)$$

Ширина обочины должна быть не менее c_{\min} ; если $c'' < c_{\min}$, то тогда $c'' = c_{\min}$.

Превышение внешней кромки проезжей части

$$H_B = H_0 + 0,5bi. \quad (1.63)$$

Превышение внешней бровки земляного полотна

$$H_A = H_B + ic. \quad (1.64)$$

Пример. Рассчитать элементы виража при следующих исходных данных: категория дороги – III; радиус круговой кривой $R = 1000$ м; поперечные уклоны на прямолинейном участке: проезжей части – $i_n = 20$ ‰, обочин – $i_0 = 40$ ‰.

Из ТКП [1] в зависимости от категории дороги принимаем следующие данные: ширину проезжей части $b = 7,0$ м; ширину обочины $c = 2,5$ м; уширение проезжей части $\Delta b' = 0$; минимальную ширину обочины $c_{\min} = 1,0$

М.

Длину переходной кривой выбираем из таблицы 1.2: $L = 120$ м, уклон виража – из таблицы 1.10: $i_b = 30$ ‰. Условный дополнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части определяем по формуле (1.53):

$$i_d = 0,5 \cdot 7 \frac{(20+30)}{100} = 1,75 \text{ ‰}.$$

Так как полученный уклон $i_d < 3$ ‰, то принимаем $i_d = 3$ ‰. Длину участка перехода от двускатного поперечного профиля к односкатному с уклоном, равным уклону проезжей части, определяем по формуле (1.54):

$$x = \frac{(7 \cdot 20)}{3} = 46,7 \text{ м}.$$

Остальные расчеты можно свести в табличную форму (таблица 1.11).

Таблица 1.11 – Результаты расчетов

| S, м | Поперечные уклоны, % | | | | Уширение, м | | Превышения, м | | | | |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|------------------------------|---------------|--------|------|------------|-------|
| | внутренний | | внешний | | проезж ей части | землян ого полот на | внешней | | оси | внутренней | |
| | обочин ы | проезж ей части | проезж ей части | обочин ы | | | бровки | кромки | | О | С |
| 0 | 40 | 20 | -20 | -20 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,10 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 10 | 40 | 20 | -11 | -11 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 20 | 40 | 20 | -3 | -3 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 30 | 40 | 20 | 6 | 6 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 0,19 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 40 | 40 | 20 | 14 | 14 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,22 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 46,7 | 40 | 20 | 20 | 20 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,24 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 50 | 40 | 21 | 21 | 21 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,24 | 0,17 | 0,10 | 0 |
| 60 | 40 | 23 | 23 | 23 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,25 | 0,17 | 0,09 | 0 |
| 70 | 40 | 24 | 24 | 24 | 0,00 | 0,00 | 0,31 | 0,25 | 0,17 | 0,09 | 0 |
| 80 | 40 | 26 | 26 | 26 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 0,26 | 0,17 | 0,08 | -0,01 |
| 90 | 40 | 27 | 27 | 27 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,27 | 0,17 | 0,07 | -0,01 |
| 100 | 40 | 28 | 28 | 28 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,27 | 0,17 | 0,07 | -0,01 |
| 110 | 40 | 29 | 29 | 29 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,28 | 0,17 | 0,06 | -0,02 |
| 120 | 40 | 30 | 30 | 30 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,28 | 0,17 | 0,06 | -0,02 |

На основании данных таблицы 1.11 строим график превышений характерных точек верха дорожного полотна над условной бровкой (рисунок 1.12)

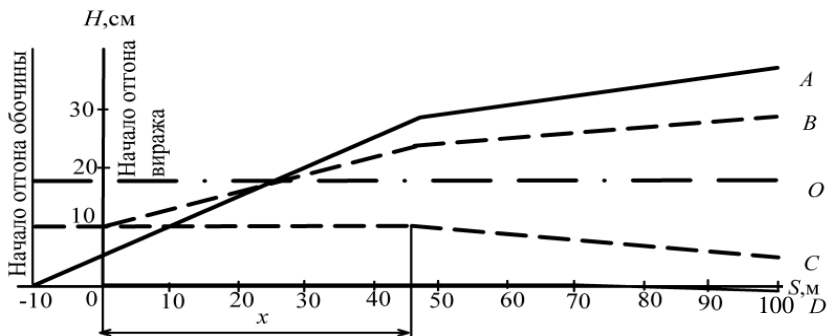


Рисунок 1.12 – График превышений бровки земляного полотна

Задачи

Произвести расчет элементов виража в соответствии с исходными данными, приведенными в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Исходные данные по вариантам

| Номер варианта | Категория дороги | Радиус кривой, м | Поперечные уклоны на прямом участке, % | | Номер варианта | Категория дороги | Радиус кривой, м | Поперечные уклоны на прямом участке, % | |
|----------------|------------------|------------------|--|---------|----------------|------------------|------------------|--|---------|
| | | | проезжей части | обочины | | | | проезжей части | обочины |
| 1 | II | 1000 | 20 | 40 | 19 | II | 1000 | 20 | 40 |
| 2 | III | 1200 | 25 | 40 | 20 | III | 1200 | 25 | 40 |
| 3 | IV | 1500 | 20 | 35 | 21 | IV | 1500 | 20 | 35 |
| 4 | II | 800 | 20 | 40 | 22 | II | 800 | 20 | 40 |
| 5 | III | 1000 | 20 | 40 | 23 | III | 1000 | 20 | 40 |
| 6 | IV | 1200 | 25 | 40 | 24 | IV | 1200 | 25 | 40 |
| 7 | II | 1500 | 20 | 35 | 25 | II | 1500 | 20 | 35 |
| 8 | III | 800 | 20 | 40 | 26 | III | 800 | 20 | 40 |
| 9 | IV | 1000 | 20 | 40 | 27 | IV | 1000 | 20 | 40 |
| 10 | II | 1200 | 25 | 40 | 28 | II | 1200 | 25 | 40 |
| 11 | III | 1500 | 20 | 35 | 29 | III | 1500 | 20 | 35 |
| 12 | IV | 800 | 20 | 40 | 30 | IV | 800 | 20 | 40 |
| 13 | II | 1000 | 20 | 40 | 31 | II | 1000 | 20 | 40 |
| 14 | III | 1200 | 25 | 40 | 32 | III | 1200 | 25 | 40 |
| 15 | IV | 1500 | 20 | 35 | 33 | IV | 1500 | 20 | 35 |
| 16 | II | 800 | 20 | 40 | 34 | II | 800 | 20 | 40 |
| 17 | III | 1000 | 20 | 40 | 35 | III | 1000 | 20 | 40 |
| 18 | IV | 1200 | 25 | 40 | 36 | IV | 1200 | 25 | 40 |

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Проектную линию продольного профиля проектируют состоящей из прямолинейных участков и вертикальных кривых. В переломы продольного профиля для обеспечения видимости, улучшения плавности и удобства движения вписывают вертикальные кривые. Вертикальные кривые устраиваются при алгебраической разности сопрягаемых уклонов более 2 ‰ на дорогах I, II категорий, более 5 ‰ – на дорогах III, IV и V категорий с дорожными одеждами усовершенствованного типа и более 20 ‰ – на дорогах IV и V категорий с дорожными одеждами переходного и низшего типов [1].

2.1 Расчет элементов вертикальных кривых

Элементы вертикальных кривых определяют по таблицам [3] в зависимости от алгебраической разности смежных уклонов, а при отсутствии таблиц вычисляют по формулам (рисунок 2.1):

- длина вертикальной кривой

$$K = l_1 + l_2, \quad (2.1)$$

где l_1 и l_2 – длины составляющих кривых, м ($l_1 = R_v i_1$; $l_2 = R_v i_2$);

R_v – радиус вертикальной кривой м, который назначается не менее приведенного в таблице 2.1;

i_1, i_2 – величина уклонов смежных элементов продольного профиля, ‰;

- тангенс вертикальной кривой

$$T = K / 2; \quad (2.2)$$

- пикетажное положение начала и конца вертикальной кривой

$$\text{пк НК} = \text{пк ВУ} - T; \quad (2.3)$$

$$\text{пк КК} = \text{пк ВУ} + T, \quad (2.4)$$

где пк ВУ – пикетажное положение вершины вертикального угла, определяемое как точки пересечения прямых линий, имеющих уклоны i_1 и i_2 ;

- пикетажное положение вершины кривой (точка О, рисунок 2.1)

$$\text{пк ВК} = \text{пк НК} + l_1; \quad (2.5)$$

- превышения вершины вертикальной кривой ее над началом и концом

$$h_1 = l_1^2 / 2R_v; \quad (2.6)$$

$$h_2 = l_2^2 / 2R_v; \quad (2.7)$$

- высотная отметка вершины вертикальной кривой (для контроля определяется через начало и конец кривой)

$$H_{вк} = H_{нк} + h_1; \quad (2.8)$$

$$H_{вк} = H_{кк} + h_2, \quad (2.9)$$

где $H_{нк}$ и $H_{кк}$ – высотные отметки начала и конца вертикальной кривой, определяемые по продольному профилю.



Рисунок 2.2 – Схема вертикальной выпуклой кривой

Таблица 2.1 – Минимально-допустимые радиусы кривых в продольном профиле

| Расчетная скорость, км/ч | Наименьший радиус кривизны в продольном профиле, м | |
|--------------------------|--|-----------------|
| | выпуклой кривой | вогнутой кривой |
| 140 | 25000 | 8000 |
| 120 | 15000 | 6000 |

Окончание таблицы 2.1

| Расчетная скорость, км/ч | Наименьший радиус кривизны в продольном профиле, м | |
|--------------------------|--|-----------------|
| | выпуклой кривой | вогнутой кривой |
| 100 | 8000 | 4000 |
| 80 | 4000 | 2500 |
| 60 | 1500 | 1500 |
| 40 | 1000 | 1000 |

2.2 Порядок проектирования вертикальных кривых

Порядок проектирования вертикальных кривых следующий:

- 1) определяют пикетажное положение вершины вертикального угла как точки пересечения прямых линий, имеющих уклоны i_1 и i_2 ;
- 2) по формулам (2.1) и (2.2) определяют длину и тангенс вертикальной кривой (К и Т);
- 3) зная длину и тангенс кривой, вычисляют пикетажное положение начала и конца вертикальной кривой по формулам (2.3) и (2.4);
- 4) с использованием формулы (2.5) определяют пикетажное положение вершины вертикальной кривой;
- 5) определяют превышения и высотную отметку вершины вертикальной кривой по формулам (2.6)–(2.9);
- 6) уточняют отметки в промежуточных точках вертикальной кривой (пикеты и плюсовые точки), для чего определяют промежуточные превышения по формуле

$$y = \frac{x^2}{2R_b}, \quad (2.10)$$

где x – расстояние от вершины кривой до рассматриваемой точки, м.

Пример расчета. Представить схему и произвести расчет вертикальной кривой, вписанной в перелом продольного профиля, при следующих исходных данных: $i_1 = 25 \%$, $i_2 = 5 \%$, $R_b = 10000$ м, ПК ВУ – ПК 25+50, высотная отметка ВУ – $H_{\text{ПК}25+50} = 120,00$.

Определяем алгебраическую разность сопрягаемых уклонов:

$$\Delta i = +i_1 - (+i_2) = 25 - 5 = 20 \%$$

Проектируем вертикальную кривую в последовательности, изложенной выше:

- 1) находим пикетажное положение вершины угла – ПК 25 + 50;
- 2) по формулам (2.1) и (2.2) определяем длину и тангенс кривой, м:

$$l_1 = R_b i_1 = 10000 \cdot 0,025 = 250 \text{ м}; \quad l_2 = R_b i_2 = 10000 \cdot 0,005 = 50 \text{ м};$$

$$K = l_1 - l_2 = 250 - 50 = 200 \text{ м}; \quad T = K/2 = 2000/2 = 100 \text{ м};$$

- 3) устанавливаем пикетажное положение начала и конца вертикальной кривой [см. формулы (2.3) и (2.4)]:

$$\text{ПК НК} = \text{ПК ВУ} - T = (\text{ПК } 25 + 50) - 100 = \text{ПК } 24 + 50;$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК ВУ} + T = (\text{ПК } 25 + 50) + 100 = \text{ПК } 26 + 50$$

и пикет вершины вертикальной кривой

$$\text{ПК ВК} = \text{ПК НК} + l_1 = (\text{ПК } 24 + 50) + 250 = \text{ПК } 27 + 00;$$

$$\text{ПК ВК} = \text{ПК КК} + l_2 = (\text{ПК } 26 + 50) + 50 = \text{ПК } 27 + 00;$$

- 4) определяем высотные отметки начала и конца вертикальной кривой, превышения и высотную отметку вершины вертикальной кривой [формулы (2.5) – (2.9)]:

$$H_{\text{НК}} = H_{\text{ВУ}} - T i_1 = 120,00 - 100 \cdot 0,025 = 117,50;$$

$$H_{\text{КК}} = H_{\text{ВУ}} + T i_2 = 120,00 + 100 \cdot 0,005 = 120,50;$$

$$h_1 = l_1^2 / 2R_b = 250^2 / (2 \cdot 10000) = 3,125 \text{ м};$$

$$h_2 = l_2^2 / 2R_b = 50^2 / (2 \cdot 10000) = 0,125 \text{ м};$$

$$H_{\text{ВК}} = H_{\text{НК}} + h_1 = 117,50 + 3,125 = 120,625 = 120,63;$$

$$H_{\text{ВК}} = H_{\text{КК}} + h_2 = 120,50 + 0,125 = 120,625 = 120,63.$$

Так как высотные отметки вершины вертикальной кривой, вычисленные через ее начало и конец, совпали, то расчет выполнен правильно;

- 5) уточняем проектные отметки в промежуточных точках. В данном случае – это ПК 25 и ПК 26:

$$y_{\text{ПК}25} = x^2 / 2R_b = 200^2 / (2 \cdot 10000) = 2,00 \text{ м};$$

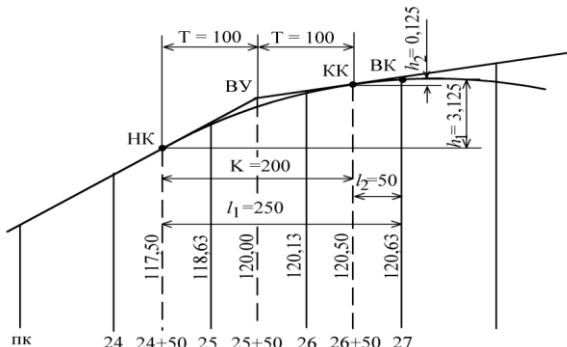
$$H_{\text{ПК}25} = H_{\text{ВК}} - y_{\text{ПК}25} = 120,63 - 2,00 = 118,63;$$

$$y_{\text{ПК}26} = x^2/2R_B = 50^2 / (2 \cdot 10000) = 0,50 \text{ м};$$

$$H_{\text{ПК}26} = H_{\text{БК}} - y_{\text{ПК}26} = 120,63 - 0,50 = 120,13.$$

Схема к расчету рассматриваемой кривой и результаты расчета представлены на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2 – Схема к расчету и результаты расчета вертикальной кривой



Задачи

Представить схему и произвести расчет вертикальной кривой, вписанной в перелом продольного профиля, при исходных данных, представленных в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Варианты исходных данных

| Номер варианта | $i_1, \%$ | $i_2, \%$ | $R_B, \text{ м}$ | ПК ВУ | Высотная отметка ВУ, м |
|----------------|-----------|-----------|------------------|---------|------------------------|
| 1 | -35 | -5 | 15000 | 35 + 40 | 120,00 |
| 2 | 25 | -5 | 12000 | 43 + 30 | 125,00 |
| 3 | 30 | 0 | 10000 | 33 + 40 | 130,00 |
| 4 | 0 | -17 | 10000 | 55 + 25 | 153,26 |
| 5 | -25 | 5 | 15000 | 52 + 45 | 136,80 |
| 6 | 5 | 25 | 10000 | 53 + 35 | 126,42 |
| 7 | -25 | -5 | 15000 | 53 + 30 | 172,48 |
| 8 | -5 | -25 | 10000 | 63 + 45 | 158,26 |
| 9 | 0 | 18 | 10000 | 33 + 30 | 158,28 |
| 10 | -25 | 0 | 12000 | 38 + 55 | 136,36 |
| 11 | -5 | 35 | 10000 | 53 + 25 | 182,28 |
| 12 | 25 | -5 | 12000 | 25 + 60 | 154,65 |
| 13 | -18 | -3 | 10000 | 41 + 00 | 125,65 |
| 14 | 15 | 0 | 15000 | 36 + 55 | 132,20 |
| 15 | 0 | -20 | 12000 | 24 + 50 | 165,89 |
| 16 | -26 | 4 | 10000 | 61 + 10 | 154,46 |
| 17 | 2 | 18 | 12000 | 45 + 20 | 120,00 |
| 18 | -35 | -15 | 10000 | 20 + 50 | 145,62 |
| 19 | 30 | 10 | 15000 | 15 + 60 | 122,30 |

| | | | | | |
|----|-----|-----|-------|---------|--------|
| 20 | 0 | -15 | 10000 | 7 + 50 | 145,68 |
| 21 | 25 | 0 | 12000 | 18 + 90 | 155,89 |
| 22 | -40 | -20 | 10000 | 27 + 30 | 188,90 |
| 23 | 20 | -10 | 10000 | 30 + 50 | 140,20 |
| 24 | -15 | 5 | 15000 | 55 + 00 | 100,10 |
| 25 | 20 | 0 | 12000 | 40 + 50 | 152,30 |
| 26 | 0 | -25 | 10000 | 16 + 00 | 132,15 |
| 27 | -5 | -15 | 15000 | 26 + 50 | 176,32 |
| 28 | 20 | 5 | 10000 | 75 + 00 | 154,47 |
| 29 | -16 | 4 | 12000 | 45 + 60 | 142,30 |
| 30 | 24 | -6 | 10000 | 74 + 55 | 122,32 |
| 31 | 0 | 12 | 10000 | 12 + 00 | 155,60 |
| 32 | -20 | 0 | 15000 | 54 + 25 | 136,65 |
| 33 | 20 | 5 | 10000 | 25 + 00 | 154,62 |
| 34 | 17 | -3 | 12000 | 46 + 65 | 145,65 |
| 35 | 20 | 0 | 10000 | 10 + 00 | 100,00 |
| 36 | -24 | 12 | 12000 | 12 + 50 | 153,26 |
| 37 | 13 | -14 | 10000 | 26 + 50 | 136,80 |
| 38 | 22 | 7 | 15000 | 14 + 23 | 126,42 |
| 39 | -15 | -3 | 10000 | 42 + 65 | 172,48 |
| 40 | 0 | 24 | 12000 | 10 + 00 | 158,26 |

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

3.1 Граница полосы отвода земель для строительства автомобильной дороги

Отвод земельных участков для размещения автомобильных дорог, водоотводных, защитных и других сооружений, полос для размещения идущих вдоль дорог коммуникаций осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами по отводу земель для строительства автомобильных дорог и дорожных сооружений. Согласно Нормам отвода земель для автомобильных дорог ширину отводимой полосы земли ограничивают фактическими границами земляного полотна плюс 1,0 м (рисунок 3.1).

Д о п о л н и т е л ь н ы е п л о щ а д к и, необходимые для устройства нагорных канав, срезок для обеспечения видимости, спрямления русел под мостами, стоянок для автомобилей и т. д. отводятся на основе детального обоснования потребности в них в проектах, а дополнительные площадки, необходимые для строительства автодорог (места для размещения удаленного растительного грунта, устройство временных дорог и т. д.)

выделяются временно и по окончании работ должны быть возвращены в состояние, пригодное для сельскохозяйственных работ.

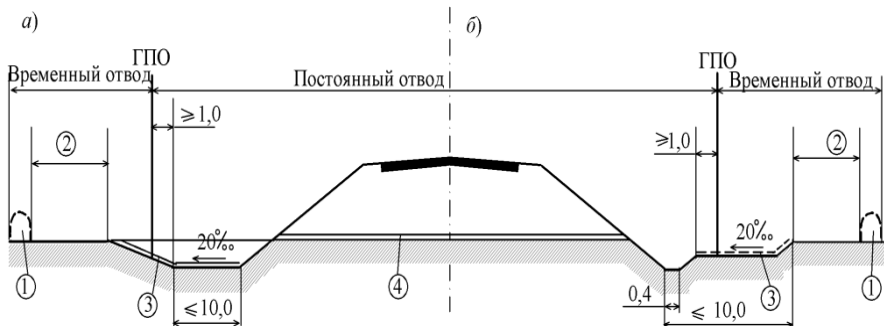


Рисунок 3.1 – Граница полосы отвода:

а – поперечный профиль с кювет-резервами; *б* – поперечный профиль с устройством мелкого резерва рядом с боковой канавой: 1 – размещение отвала растительного грунта; 2 – расстояние, обеспечивающее нормальную работу землеройных машин; 3 – слой укладываемого растительного грунта; 4 – слой растительного грунта, удаляемого перед возведением насыпи

Средняя ширина полосы отвода в зависимости от категории дороги составляет 21–63 м на плодородных сельхозугодиях и 33–74 м – на землях, не пригодных для сельскохозяйственных работ.

3.2 Элементы поперечного профиля земляного полотна

Сечение дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной оси дороги, называется **поперечным профилем**. Основные элементы поперечного профиля насыпи приведены на рисунке 3.2.

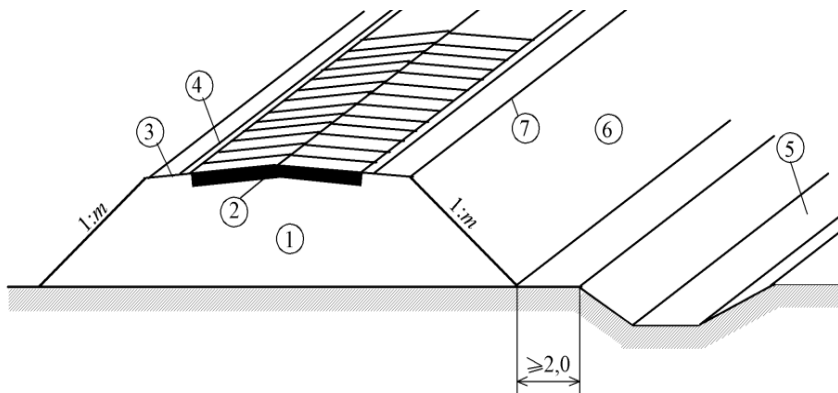


Рисунок 3.2 – Основные элементы поперечного профиля насыпи:

1 – земляное полотно; 2 – проезжая часть; 3 – обочины; 4 – краевые или укрепительные полосы; 5 – резерв; 6 – откос; 7 – бровка земляного полотна

Расстояние между бровками условно называют шириной земляного полотна. **Ширина земляного полотна** регламентируется в зависимости от категории дороги и числа полос движения и представлена в ТКП [1]. **Крутизну откосов** характеризует коэффициент заложения, который определяется отношением высоты откоса к его горизонтальной проекции – заложению $1 : m$.

Основные элементы поперечного профиля выемки приведены на рисунке 3.3.

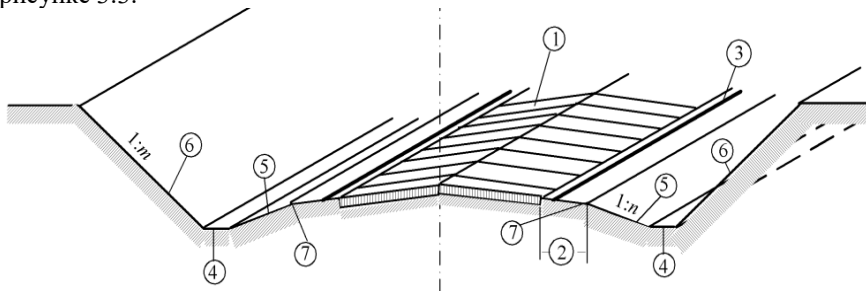


Рисунок 3.3 – Основные элементы поперечного профиля выемки:

1 – проезжая часть; 2 – обочины; 3 – краевые или укрепительные полосы; 4 – кювет; 5 – внутренний откос; 6 – внешний откос; 7 – бровка земляного полотна

Для благоприятных геологических условий разработаны типовые поперечные профили земляного полотна, которые, как показал опыт эксплуатации, являются прочными и устойчивыми.

3.3 Типовые поперечные профили земляного полотна

Типовые поперечные профили земляного полотна и сферы их применения приводятся в П2-01 [2], а также на рисунках 3.4–3.13.

Насыпи

Тип 1



Тип 2

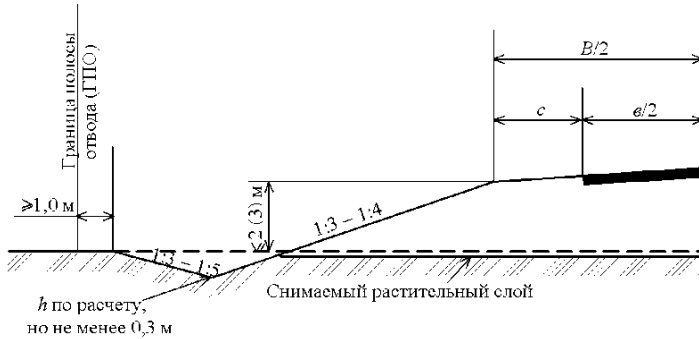


Рисунок 3.4 – Поперечный профиль земляного полотна насыпи при высоте насыпи до 2–3 м

Тип 1 назначается:

- в нестесненных условиях, на неплодородных землях и при условии временного отвода под боковые резервы;
- при высоте насыпи до 3 м и крутизне откосов 1:4 на дорогах I–II категорий, а при высоте до 2 м и крутизне откосов 1:3 – на дорогах III и IV категорий;
- в случае, когда резервы не нарушают общей планировки местности и грунт может быть использован для возведения насыпи;
- когда дно резерва при ширине его до 10 м проектируется односкатным с поперечным уклоном 0,02, а при ширине более 10 м – двускатным с уклоном к его середине более 0,02.

Тип 2 назначается:

- в стесненных условиях или при прохождении по ценным угодиям;
- при высоте насыпи до 3 м и крутизне откосов 1:4 на дорогах I–II категорий, а при высоте до 2 м и крутизне откосов 1:3 – на дорогах III и IV категорий;
- на ценных землях, где допускается увеличение крутизны откосов до предельных значений, приведенных в ТКП [1], с разработкой мероприятий по обеспечению безопасности движения.

Тип 3 и 4 назначается:

- при высоте насыпи до 6 м и крутизне откосов 1:1,75, а при высоте до 12 м и крутизне откосов 1:2 – в нижней части насыпи, 1:1,75 – в верхней части насыпи на дорогах I и IV категорий;
- при отсутствии возможности обхода ложбин и неровностей рельефа местности;
- на подходах к искусственным сооружениям.

Tun 3

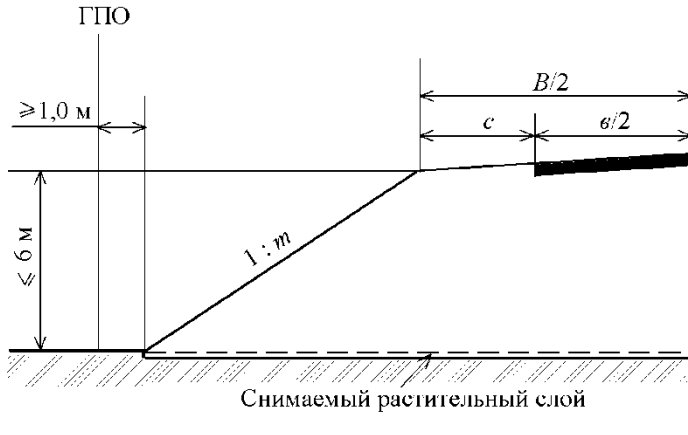


Рисунок 3.5 – Поперечный профиль земляного полотна насыпи при высоте насыпи до 6 м

Tun 4

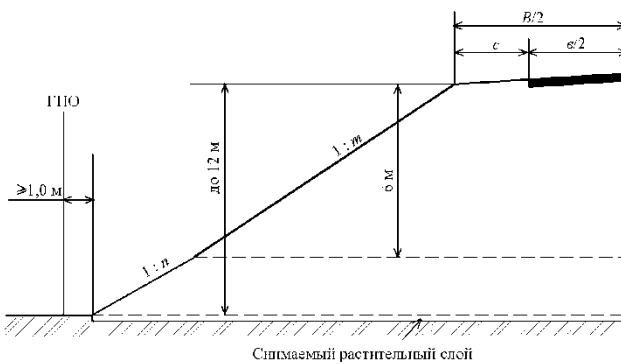


Рисунок 3.6 – Поперечный профиль земляного полотна насыпи при высоте насыпи до 12 м

Tun 5

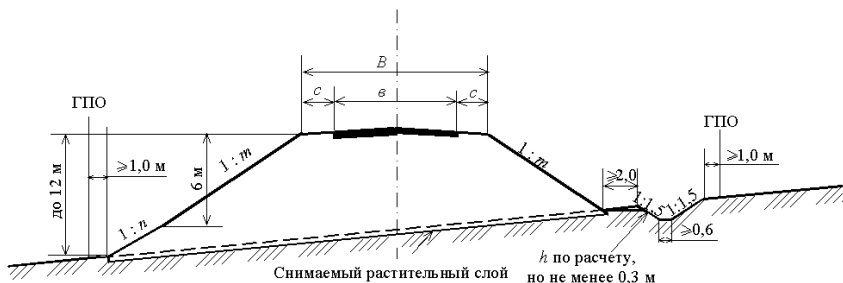


Рисунок 3.7 – Поперечный профиль земляного полотна насыпи на косогорах с высотой откоса низовой стороны до 12 м на склонах с крутизной 1:10–1:5

Тип 6

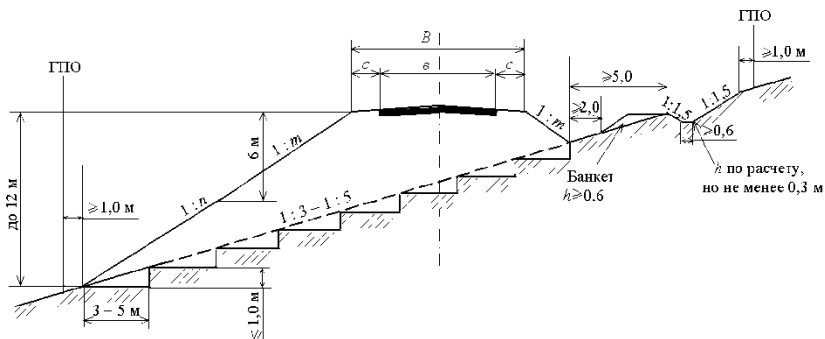


Рисунок 3.8 – Поперечный профиль земляного полотна насыпи на косогорах с высотой откоса низовой стороны до 12 м на склонах с крутизной 1:5–1:3

Типы 5 и 6 назначаются:

- при устройстве насыпей на склонах крутизной от 1:10 до 1:3. Крутизна откосов приведена в таблице 3.1;
- при крутизне склонов от 1:10 до 1:5 под насыпями высотой до 1 м, при этом растительный грунт удаляют, при высоте насыпей более 1 м производят рыхление основания. Удаление растительного грунта, нарезку уступов шириной 3–5 м и высотой 1 м в пределах косогоров крутизной 1:5–1:3 производят независимо от высоты насыпи;
- на склонах крутизной 1:10–1:5, при этом нагорные канавы могут проектироваться без банкетов.

Таблица 3.1 – Крутизна откосов

| Грунты насыпи | Наибольшая крутизна откосов | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| | при высоте откоса до 6,0 м | при высоте откоса до 12,0 м | |
| | | в нижней части | в верхней части |
| Глыбы из слабывыветриваемых пород | 1:1–1:1,3 | 1:1,3–1:1,5 | 1:1,3–1:1,5 |
| Крупнообломочные и песчаные (за | 1:1,5 | 1:1,5 | 1:1,5 |

| | | | |
|---|--------|-----|--------|
| исключением мелких и пылеватых песков) | | | |
| Песчаные мелкие и пылеватые, глинистые и лессовые, золошлаковые смеси непучинистые, слабопучинистые и пучинистые | 1:1,75 | 1:2 | 1:1,75 |

Выемки

Тип 7

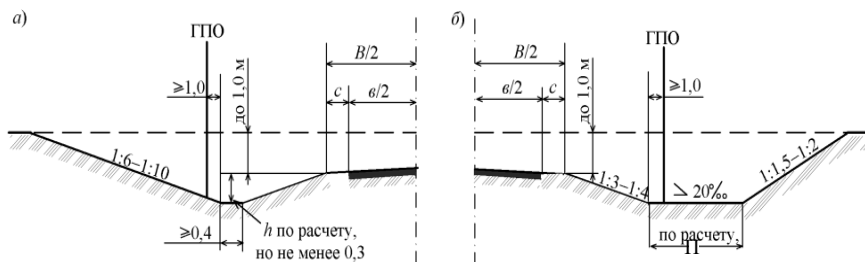


Рисунок 3.9 – Выемки глубиной до 1,0 м на снегозаносимых участках

Тип 7 назначается:

- на начальных участках глубоких выемок.
- с целью предохранения начальных участков выемок от снежных заносов в нестесненных условиях и на малоценных угодьях, при этом выемки устраивают либо раскрытыми (тип 7а), либо разделанными под насыпь (тип 7б).

Тип

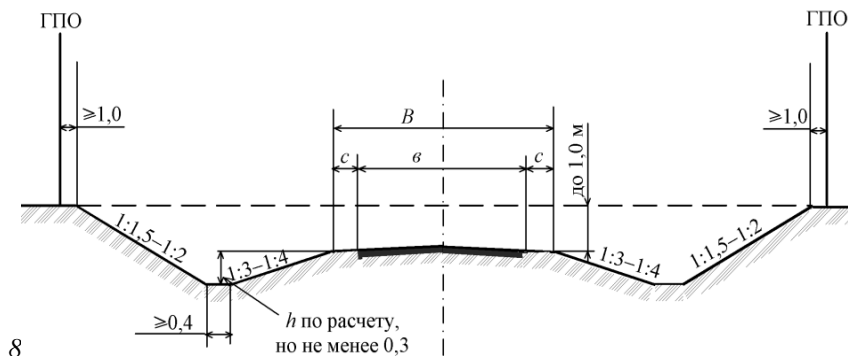


Рисунок 3.10 – Выемки глубиной до 1,0 м на снегонезаносимых участках

Тип 8 назначается:

- на начальных участках глубоких выемок глубиной до 1 м на снегозаносимых участках;
- в стесненных условиях или при проложении дороги по ценным угольям, а также на участках, где отсутствуют снежные заносы.

Тип 9

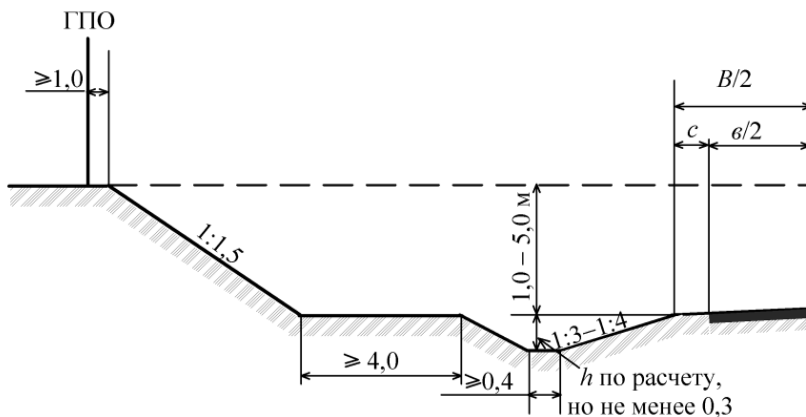


Рисунок 3.11 – Выемки глубиной от 1,0 до 5,0 м

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

Тип 10

| Грунты | Крутизна откосов 1:m |
|---|----------------------|
| Крупнообломочные | 1:1–1:1,5 |
| Песчаные крупные и средние, глинистые твердой и полутвердой консистенций | 1:1,5 |
| Мелкие и пылеватые песчаные, глинистые тугопластичной, мягкопластичной консистенции | 1:2–1:1,5 |

Тип 12 назначается:

- на склонах крутизной 1:10–1:5;
- выемки по варианту А применяются для автодорог I и II категорий, по варианту Б – для всех остальных;
- для дорог IV–VI категорий крутизна внутреннего откоса – 1:3;
- ширина закуветных полок (12 Б) принимается равной 1 м при глубине выемки до 6 м и 2 м – более 6 м;
- при крутизне откосов 1:m, которые принимаются в соответствии таблицей 3.2.

3.4 Поперечные профили земляного полотна на болотах

При назначении конструкции земляного полотна необходимо знать тип болота, мощность и свойства отдельных его слоев. В таблице 3.3 приведена укрупненная инженерная классификация болот, принятая при проектировании и строительстве дорог в заболоченных районах [6].

Таблица 3.3 – Инженерная классификация болот

| Классификация | | Характеристика болот | Работа основания под насыпью |
|---------------|--------|---|--|
| тип | подтип | | |
| I | а | Заполненное болотными грунтами, перекрытыми слоем наносного грунта | Преимущественное сжатие без бокового выдавливания под насыпями высотой до 3 м |
| | б | Сплошь заполненное болотными грунтами | |
| II | а | Слой торфа, подстилаемый слоем сапропеля, мергеля или ила и перекрытый наносным грунтом | Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при быстром возведении насыпи высотой до 3 м, но уплотняется при медленном возведении |
| | б | То же без наносного грунта | |
| III | | Болото с торфяным слоем, плавающим на поверхности воды (сплавинные болота) | Содержит хотя бы один слой слабого грунта, который выдавливается при возведении насыпей до 3 м при любых режимах проведения работ |

Земляное полотно на болотах проектируется насыпями с рекомендуемой рабочей отметкой для III типа местности по увлажнению.

Для дорог с усовершенствованным покрытием насыпи возводятся с посадкой на минеральное дно (с выторфовыванием) – типы 1-Б, 2-Б, 3-Б (рисунки 3.14–3.16).

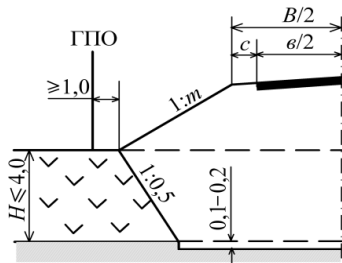


Рисунок 3.14 – Поперечный профиль земляного полотна типа 1-Б

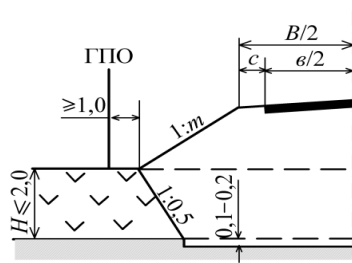


Рисунок 3.15 – Поперечный профиль земляного полотна типа 2-Б

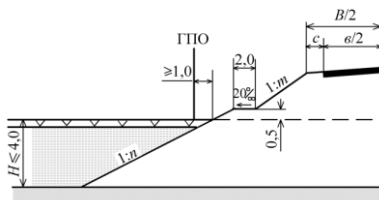


Рисунок 3.16 – Поперечный профиль земляного полотна типа 3-Б

Рисунок

Приведенные на рисунках 3.15–3.17 поперечные профили земляного полотна применяются:

- тип 1-Б – на болотах I–II типов глубиной до 4 м для дорог I–III категорий;
- тип 2-Б – на болотах I–II типов глубиной до 2 м для дорог IV–V категорий;
- тип 3-Б – на болотах III типа глубиной до 4 м для дорог I–V категорий.

Тип 1-Б допускает устройство вертикальных откосов в нижней части насыпи. Нижняя часть насыпи, возвышающаяся на 0,5 м (тип 3-Б), должна отсыпаться из дренирующих грунтов. Крутизна откосов 1: *m* и 1: *n* приводится в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Крутизна откосов

| Грунты | Крутизна откосов 1: <i>m</i> |
|--|------------------------------|
| Крупнообломочные, пески крупные, пески средней крупности | 1:1,5 |
| Пески мелкие, пески пылеватые | 1:2 – 1:1,5 |
| Глинистые грунты | 1:2 – 1:1,75 |

Для дорог с переходными и низшими типами покрытий насыпи возводятся с частичным выторфовыванием или без выторфовывания – типы 9-Б и 4-Б (рисунки 3.17–3.18).

Тип 9-Б применяется на болотах I и II типов глубиной более 4 м для дорог II–V категорий с высотой насыпи до 3 м. Крутизна откосов 1:m приводится в таблице 3.5. Осадка оставшегося слоя (S) определяется расчетом. Покрытие устраивается после завершения расчетной осадки.

Тип 4-Б применяется на болотах I и II типов для дорог II–V категорий при высоте насыпи до 3 м. Величина осадки (S) и скорость консолидации определяется расчетом. Крутизна откосов принимается в зависимости от высоты насыпи в соответствии с таблицей 3.4.

Пример. Запроектировать поперечный профиль насыпи при следующих исходных данных: категория дороги – III; высота насыпи $h_n = 2,6$ м; грунт земляного полотна – суглинок; дорога проходит по ценным землям; толщина растительного слоя – 0,2 м; местность не имеет поперечного уклона: отметка земли по оси дороги $H_3 = 240,50$ м, толщина дорожной одежды 0,75 м.

Первоначально из ТКП [1] выбираем параметры земляного полотна для дороги III категории: ширина земляного полотна (B) – 12 м; проезжей части (e) – 7,0 м; обочин (c) – 2,5 м; поперечный уклон проезжей части (i_n) – 20 ‰; обочин (i_o) – 40 ‰. На основе анализа типовых поперечных профилей земляного полотна, приведенных на рисунках 3.4–3.9, устанавливаем, что в данном случае для проектирования поперечного профиля можно принять тип 3, так как высота насыпи более 2 м. Крутизну откосов принимаем (1: m) 1:1,75, так как грунт земляного полотна (суглинок) относится к глинистым грунтам (см. таблицу 3.1). Затем в масштабе 1:100 или 1:50 вычерчиваем поперечный профиль земляного полотна, на котором показываем все необходимые размеры (рисунок 3.19), определяемые по следующим формулам:

- ширина подошвы насыпи $B' = 2B + 2mh_n = 2 \cdot 12 + 2 \cdot 2,6 \cdot 1,75 = 33,1$ м;

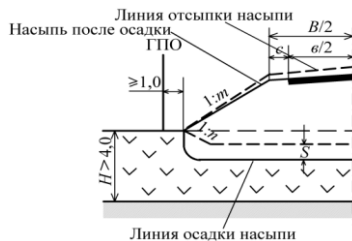


Рисунок 3.17 – Поперечный профиль земляного полотна типа 9-Б (частичное выторфовывание): S – величина осадки

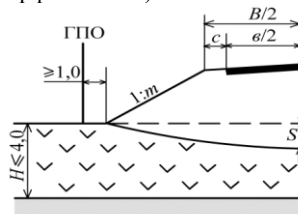


Рисунок 3.18 – Поперечный профиль земляного полотна типа 4-Б (без выторфовывания): S – величина осадки

- отметка бровки земляного полотна $H_6 = H_3 + h_{н} = 240,50 + 2,6 = 243,10$ м;
 - отметка кромки проезжей части $H_к = H_6 + c_{i0} = 243,10 + 2,5 \cdot 0,04 = 243,20$ м;
- М;
- отметка оси проезжей части $H_0 = H_к + (b/2)i_{п} = 243,20 + (7/2) \cdot 0,02 = 243,27$ м.

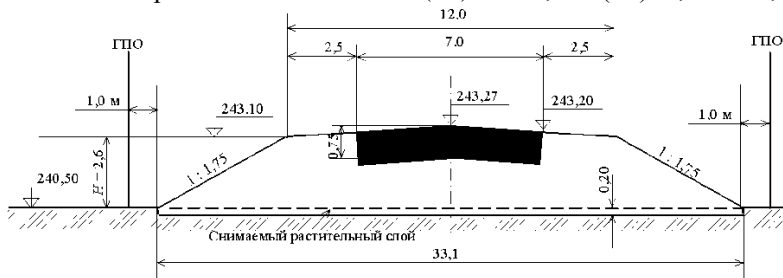


Рисунок 3.19 – Поперечный профиль земляного полотна 3-го типа (все размеры приведены в метрах)

Задачи

Определить тип и запроектировать поперечный профиль земляного полотна по исходным данным, приведенным в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Исходные данные по вариантам

| № варианта | Категория дороги | Тип земляного полотна | Высота насыпи или глубина выемки, м | Отметка земли по оси дороги | Тип земель | Поперечный уклон местности | Грунт земляного полотна | Толщина растительного слоя, м | Толщина дорожной одежды, м |
|------------|------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1 | II | Выемка | 0,90 | 121,00 | Цен. | 0 | Песок м | 0,20 | 0,70 |
| 2 | III | Насыпь | 1,20 | 122,50 | Нец. | 5 | " с | 0,25 | |
| 3 | IV | Выемка | 1,50 | 124,00 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 4 | V | Насыпь | 1,70 | 125,50 | Нец. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 5 | II | Выемка | 1,50 | 127,00 | Цен. | 0 | " с | 0,25 | |
| 6 | III | Насыпь | 3,10 | 128,50 | Нец. | 12 | Глина | 0,30 | |
| 7 | IV | Выемка | 3,10 | 130,00 | Цен. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 8 | V | Насыпь | 2,10 | 131,50 | Нец. | 0 | " с | 0,25 | |
| 9 | II | Выемка | 5,10 | 133,00 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 10 | III | Насыпь | 6,25 | 134,50 | Нец. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 11 | IV | Выемка | 2,10 | 136,00 | Цен. | 0 | " с | 0,25 | |
| 12 | V | Насыпь | 3,20 | 137,50 | Нец. | 5 | Глина | 0,30 | |
| 13 | II | Выемка | 2,40 | 139,00 | Цен. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 14 | III | Насыпь | 12,40 | 140,50 | Нец. | 5 | " с | 0,25 | |
| 15 | IV | Выемка | 4,60 | 142,00 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 16 | V | Насыпь | 3,50 | 143,50 | Нец. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 17 | II | Выемка | 1,20 | 145,00 | Цен. | 0 | " с | 0,25 | |
| 18 | III | Насыпь | 3,40 | 146,50 | Нец. | 7 | Глина | 0,30 | |
| 19 | IV | Выемка | 2,30 | 148,00 | Цен. | 5 | Песок м | 0,20 | |

| | | | | | | | | | |
|----|-----|--------|------|--------|------|----|---------|------|--|
| 20 | V | Насыпь | 1,10 | 149,50 | Нец. | 12 | " с | 0,25 | |
| 21 | II | Выемка | 2,50 | 151,00 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 22 | III | Насыпь | 2,50 | 152,50 | Нец. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 23 | IV | Выемка | 3,10 | 121,00 | Цен. | 14 | " с | 0,25 | |

Окончание таблицы 3.5

| № варианта | Категория дороги | Тип земляного полотна | Высота насыпи или глубина выемки, м | Отметка земли по оси дороги | Тип земель | Поперечный уклон местности | Грунт земляного полотна | Толщина растительного слоя, м | Толщина дорожной одежды, м |
|------------|------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 24 | V | Насыпь | 3,10 | 122,50 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | 0,70 |
| 25 | II | Выемка | 6,50 | 124,00 | Нец. | 5 | Песок м | 0,20 | |
| 26 | III | Насыпь | 6,50 | 125,50 | Цен. | 0 | " с | 0,25 | |
| 27 | IV | Выемка | 1,20 | 127,00 | Нец. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 28 | V | Насыпь | 2,40 | 128,50 | Цен. | 10 | Песок м | 0,20 | |
| 29 | II | Выемка | 3,50 | 130,00 | Нец. | 5 | " с | 0,25 | |
| 30 | III | Насыпь | 1,20 | 131,50 | Цен. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 31 | IV | Выемка | 2,40 | 133,00 | Нец. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 32 | V | Насыпь | 6,80 | 134,50 | Цен. | 12 | " с | 0,25 | |
| 33 | II | Выемка | 1,20 | 136,00 | Нец. | 0 | Глина | 0,30 | |
| 34 | III | Насыпь | 14,00 | 137,50 | Цен. | 0 | Песок м | 0,20 | |
| 35 | IV | Выемка | 3,10 | 139,00 | Нец. | 0 | " с | 0,25 | |

4 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ВЫСОКИХ НАСЫПЕЙ И ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

4.1 Общие положения

Потеря общей устойчивости откосов насыпей и выемок является одним из наиболее распространенных видов деформаций земляного полотна автомобильных дорог. В связи с этим проверка общей устойчивости откосов земляного полотна на различных участках дороги – обычная задача для инженера-дорожника, а выполняемые при этом геотехнические расчеты – обязательная часть обоснования практически любого проекта дороги.

При расчете общей устойчивости откосов исходят из следующих возможных **схем обрушения** [5]:

- если грунт земляного полотна однороден или отдельные его слои мало отличаются по прочностным показателям, смещение оползающего массива происходит по образующейся в грунте криволинейной поверхности скольжения;

- если грунт земляного полотна имеет неоднородные напластования, резко различающиеся по прочностным показателям, смещение грунтового

массива может происходить по фиксированной поверхности между слоями.

Наиболее общим и часто встречающимся случаем является обрушение откосов по криволинейным поверхностям скольжения. Наблюдения показывают, что откосы насыпей обрушиваются по поверхностям скольжения, близким по форме к кругло-цилиндрическим (рисунок 4.1).

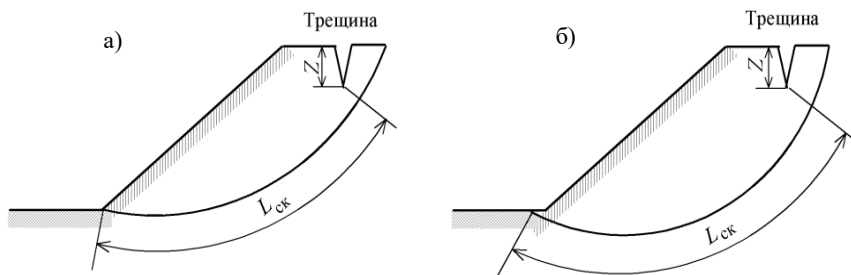


Рисунок 4.1 – Положение опасных кривых скольжения:
а – при устойчивых грунтах основания; б – при слабых грунтах основания; $L_{ск}$ – расчетная длина скольжения

Обрушению откосов всегда предшествует появление вертикальной трещины обрушения (трещины Терцаги). В зависимости от свойств грунтового основания насыпи возможны **два вида обрушения**:

- при достаточно устойчивых грунтах основания поверхность обрушения обычно происходит через подошву откоса насыпи (см. рисунок 4.1, а);

- в случае слабого грунтового основания поверхность обрушения может заходить в пределы слабого слоя и распространяться за пределы подошвы откоса насыпи (см. рисунок 4.1, б).

Общая устойчивость откоса насыпи оказывается обеспеченной лишь в том случае, если сумма всех сил, сдвигающих массив обрушения (или их моментов относительно оси вращения), оказывается меньше суммы сил (или их моментов), его удерживающих, т. е. при расчетном коэффициенте устойчивости $K_p \geq 1$. Однако, учитывая некоторую погрешность методов расчета и исходных данных, неучет некоторых фактических условий работы (например, динамического воздействия подвижного состава) и т. д., с инженерной точки зрения общая устойчивость откоса насыпи считается обеспеченной, если расчетный коэффициент устойчивости оказывается равным нормативному, определяемому по следующей формуле [5]:

$$K_p = \frac{\prod_{i=1}^n P_{уді}}{\prod_{i=1}^n P_{сли}} = \frac{\prod_{i=1}^n M_{уді}}{\prod_{i=1}^n M_{сли}} K_n. \quad (4.1)$$

Крутизна откосов насыпей, укрепленных посевом трав, назначается в соответствии с ТКП 45-3.03-19-2006 (см. таблицу 4.1). Наибольшая крутизна выемок при высоте откоса до 12 м в песчаных и глинистых грунтах назначается 1 : 1,5.

Таблица 4.1 – Наибольшая крутизна откосов насыпей

| Грунт насыпи | Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м | | |
|---|---|---------------------|----------------------------|
| | до 6 | до 12, в том числе | |
| | | в нижней части до 6 | в верхней части от 6 до 12 |
| Крупнообломочные грунты, пески крупные, пески средние | 1 : 1,5 | 1 : 1,5 | 1 : 1,5 |
| Пески мелкие, пески пылеватые | 1 : 1,5 | 1 : 2 | 1 : 1,5 |
| Глинистые грунты | 1 : 1,75 | 1 : 2 | 1 : 1,75 |

При оценке устойчивости откоса необходимо:

- установить индекс классификационной группы откоса, определяющий особенности строения и гидрогеологического режима грунтовой толщи, слагающей откос и его основание (таблица 4.2);
- выбрать метод расчета для проверки устойчивости откоса;
- произвести расчеты по выбранным методам и получить расчетное значение коэффициента устойчивости;
- сопоставить полученное значение коэффициента устойчивости с требуемым значением и сделать заключение о степени устойчивости;
- при недостаточной устойчивости необходимо выбрать мероприятие или комплекс мероприятий, обеспечивающих ее повышение наиболее рациональным в данных конкретных условиях способом.

Таблица 4.2 – Инженерно-геологические особенности грунтовой толщи

| Тип земляного полотна | Вид строения откоса по наличию слоистости | Разновидность грунтового массива по характеру слоистости | Разновидность откоса по воздействию подземных и поверхностных вод |
|-----------------------|---|--|---|
| Насыпь | А. Однородный | – | 1 Безводный 2 Подверженный силовому воздействию воды |
| | Б. Слоистый | – | 1 Безводный 2 Подверженный |

| | | | |
|--------|---------------|--|--|
| | | | силowому воздействию воды |
| Выемка | А. Однородный | – | 1 Безводный 2 Несущий поток грунтовых вод |
| | Б. Слоистый | 1 Горизонтальные слои 2 Падение в сторону выемки 3 Падение от выемки 4 Сложное расположение слоев | 1 Безводный 2 Несущий поток грунтовых вод |

4.2 Порядок расчета устойчивости откосов насыпей

Оценка устойчивости откосов насыпей производится в следующей последовательности:

1 Откос делят по высоте на ряд слоев мощностью 1 м каждый (рисунок 4.2).

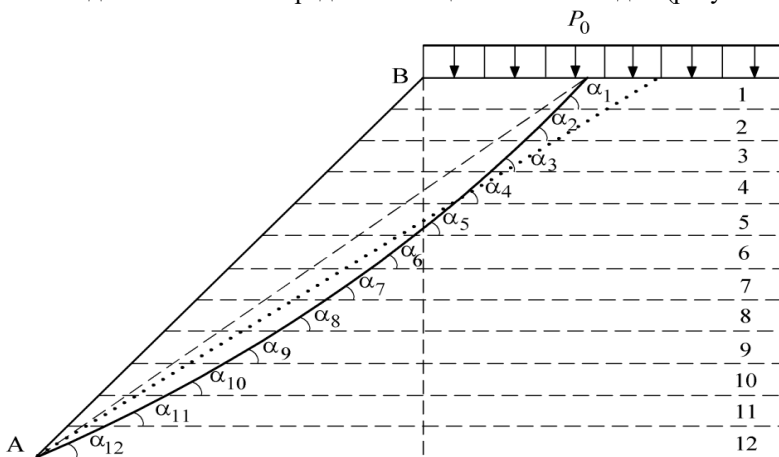


Рисунок 4.2 – Схема проектирования контура равнопрочного откоса

2 Определяют давление от собственного веса грунта (природное давление) для подошвы каждого из слоев по формуле

$$P_{np} = \sum_{i=1}^{i=n} 0,01rZ_i, \quad (4.2)$$

где ρ – плотность грунта, т/м³;

Z_i – мощность слоя грунта, м ($Z_i = 1$ м).

3 В соответствии с исходными данными принимают угол внутреннего трения и определяют его тангенс.

4 Определяют соотношение

$$C_w/P_{\text{пр}},$$

где C_w – общее сцепление, МПа;

$P_{\text{пр}}$ – давление от собственного веса грунта, МПа.

5 Вычисляют тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига для каждого слоя при отсутствии внешней нагрузки:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \operatorname{tg} \varphi + C_w/P_{\text{пр}}; \\ \psi &= \operatorname{arctg} \psi. \end{aligned} \quad (4.3)$$

6 Определяют тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига для каждого слоя при наличии внешней нагрузки, выраженной через равномерно распределенную нагрузку:

$$\operatorname{tg} \psi_P = \operatorname{tg} \varphi + C_w/(P_{\text{пр}} + P_0), \quad (4.4)$$

где P_0 – внешняя равномерно распределенная нагрузка, МПа.

$$\psi_P = \operatorname{arctg} \psi_P.$$

7 Вычисляют угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{\text{зап}}$ и без дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_Z = \psi/K_{\text{зап}}. \quad (4.5)$$

8 Вычисляют угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{\text{зап}}$ и при воздействии равномерно распределенной дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_{Z,P} = \psi_P/K_{\text{зап}}. \quad (4.6)$$

Результаты расчета сводятся в таблицу (таблица 4.3).

9 Строят профиль откоса. На рисунке 4.2, начиная с нижней точки откоса (точка А), проводят прямую линию под углом, соответствующим углу α на глубине 12 м, в пределах нижнего слоя грунта. Из точки пересечения нижней прямой с верхней плоскостью слоя проводят прямую под углом, соответствующим углу α на глубине 11 м, и т. д. Построение ломаной линии откоса осуществляют снизу вверх – от основания откоса до его верхней поверхности. Полученную линию откоса спрямляют за счет увеличения углов α для некоторых слоев грунта.

Пример. Исходные данные: высота насыпи – 12 м; плотность грунта ρ – 1,88 т/м³; угол внутреннего трения φ – 26°; общее сцепление грунта

$C_w - 0,08$ МПа; заложение откоса – 1:1; равномерно распределенная нагрузка $P_0 - 0,1$ МПа; коэффициент запаса $K_{\text{зап}} - 1,25$.

На отдельном листе вычерчиваем профиль откоса в соответствии с заданием в масштабе 1:100. Откос делим по высоте на слои мощностью 1 м каждый (см. рисунок 4.2). В данном случае получилось 12 слоев. Далее производим расчет в соответствии с последовательностью, представленной в подразд. 4.1. Расчет начинаем с первого слоя.

Давление от собственного веса грунта определяем по формуле (4.2):

$$P_{\text{пр}} = 0,01 \cdot 1,88 \cdot 1 = 0,0188 \text{ МПа.}$$

Тангенс внутреннего угла трения, ϕ , в соответствии с исходными данными, составляет $\text{tg } 26^\circ = 0,487733$.

Определяем отношение $C_w / P_{\text{пр}} = 0,08/0,0188 = 4,25$.

По формуле (4.3) определяем тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига при отсутствии внешней нагрузки:

$$\text{tg } \psi = 0,487733 + 4,25 = 4,737733; \quad \psi = \arctg 4,737733 = 78^\circ 05'.$$

По формуле (4.4) определяем тангенс угла сдвига и значение самого угла сдвига при наличии внешней нагрузки, выраженной через равномерно распределенную нагрузку:

$$\text{tg } \psi_P = 0,487733 + 0,08/(0,0188 + 0,1) = 1,16; \quad \psi_P = \arctg 1,16 = 49^\circ 12'.$$

Угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{\text{зап}}$ и без дополнительной внешней нагрузки определяем по формуле (4.5):

$$\alpha_Z = 78^\circ 05' / 1,25 = 62^\circ.$$

По формуле (4.6) вычисляем угол наклона поверхности скольжения к горизонту для каждого слоя с учетом коэффициента запаса устойчивости $K_{\text{зап}}$ и при воздействии равномерно распределенной дополнительной внешней нагрузки:

$$\alpha_{Z,P} = 49^\circ 12' / 1,25 = 39^\circ.$$

Результаты расчетов для всех слоев сведем в таблицу 4.3.

Строим профиль откоса в соответствии с п. 9 подразд. 4.1. Полученную линию откоса спрямляем за счет увеличения углов α для некоторых слоев грунта.

Вывод. В результате графоаналитического проектирования (по методу равнопрочного откоса) построен контур равнопрочного откоса

насыпи при коэффициенте запаса $K_{\text{зап}} = 1,25$ для грунта без и с дополнительной равномерно распределенной нагрузкой.

Полученный профиль откоса является устойчивым и обеспечивает целостность конструкции при воздействии на откос равномерно распределенной нагрузки.

Задачи

1 Запроектировать графоаналитическим методом (методом равнопрочного откоса) контур равнопрочного откоса насыпи при заданном коэффициенте запаса без внешней нагрузки.

Таблица 4.3 – Результаты расчета угла наклона поверхности скольжения

| № точки | Координаты точки Z, м | Природное давление P_{np} , МПа | Угол внутреннего трения φ , град | tg φ | Общее сцепление C_w , МПа | Без дополнительной нагрузки | | | | С дополнительной равномерно распределенной нагрузкой | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------------------|--|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|--------|----------|--|-----------|--------|----------|
| | | | | | | C_w/P_{np} | tg ψ | ψ | α | $C_w/(P_{np} + P_0)$ | tg ψ | ψ | α |
| 1 | 1 | 0,0188 | 26 | 0,4877 | 0,08 | 4,25 | 4,73 | 78 | 62 | 0,67 | 1,16 | 49 | 39 |
| 2 | 2 | 0,0376 | | | | 2,10 | 2,58 | 68 | 54 | 0,58 | 1,07 | 46 | 37 |
| 3 | 3 | 0,0564 | | | | 1,40 | 1,88 | 62 | 49 | 0,51 | 0,96 | 43 | 34 |
| 4 | 4 | 0,0752 | | | | 1,06 | 1,54 | 57 | 45 | 0,45 | 0,94 | 43 | 34 |
| 5 | 5 | 0,0940 | | | | 0,85 | 1,33 | 53 | 42 | 0,41 | 0,90 | 42 | 33 |
| 6 | 6 | 0,1128 | | | | 0,70 | 1,18 | 49 | 39 | 0,37 | 0,86 | 40 | 32 |
| 7 | 7 | 0,1316 | | | | 0,60 | 1,08 | 47 | 37 | 0,34 | 0,83 | 39 | 31 |
| 8 | 8 | 0,1504 | | | | 0,53 | 1,01 | 45 | 36 | 0,32 | 0,81 | 39 | 31 |
| 9 | 9 | 0,1692 | | | | 0,47 | 0,95 | 43 | 34 | 0,30 | 0,79 | 38 | 30 |
| 10 | 10 | 0,1880 | | | | 0,42 | 0,90 | 42 | 33 | 0,28 | 0,77 | 37 | 29 |
| 11 | 11 | 0,2068 | | | | 0,38 | 0,86 | 40 | 32 | 0,26 | 0,75 | 37 | 29 |
| 12 | 12 | 0,2256 | | | | 0,35 | 0,83 | 39 | 32 | 0,24 | 0,73 | 36 | 28 |

2 Запроектировать графоаналитическим методом контур равнопрочного откоса при заданном коэффициенте запаса и действии на откос равномерно распределенной нагрузки.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Исходные данные

| № варианта | Высота насыпи, м | Плотность грунта, т/м ³ | Угол внутреннего трения φ, град | Общее сцепление C_w , МПа | Заложение откоса 1 : m | Внешняя равномерно распределенная нагрузка P_0 , МПа | Коэффициент запаса $K_{зап}$ |
|------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------|--|------------------------------|
| 1 | 10 | 1,60 | 12 | 0,01 | 1,0 | 0,10 | 1,10 |
| 2 | 11 | 1,70 | 13 | 0,02 | 1,1 | 0,11 | 1,15 |
| 3 | 12 | 1,80 | 14 | 0,03 | 1,2 | 0,12 | 1,20 |
| 4 | 9 | 1,90 | 15 | 0,04 | 1,3 | 0,13 | 1,25 |
| 5 | 8 | 2,00 | 16 | 0,05 | 1,4 | 0,14 | 1,30 |
| 6 | 13 | 1,65 | 17 | 0,06 | 1,5 | 0,15 | 1,10 |
| 7 | 14 | 1,75 | 18 | 0,07 | 1,0 | 0,16 | 1,15 |
| 8 | 10 | 1,85 | 19 | 0,08 | 1,1 | 0,17 | 1,20 |
| 9 | 11 | 1,95 | 20 | 0,01 | 1,2 | 0,18 | 1,25 |
| 10 | 12 | 2,05 | 21 | 0,02 | 1,3 | 0,10 | 1,30 |
| 11 | 9 | 1,60 | 22 | 0,03 | 1,4 | 0,11 | 1,10 |
| 12 | 8 | 1,70 | 23 | 0,04 | 1,5 | 0,12 | 1,15 |
| 13 | 13 | 1,80 | 24 | 0,05 | 1,0 | 0,13 | 1,20 |
| 14 | 14 | 1,90 | 25 | 0,06 | 1,1 | 0,14 | 1,25 |
| 15 | 10 | 2,00 | 26 | 0,07 | 1,2 | 0,15 | 1,30 |
| 16 | 11 | 1,65 | 27 | 0,08 | 1,3 | 0,16 | 1,10 |
| 17 | 12 | 1,75 | 28 | 0,01 | 1,4 | 0,17 | 1,15 |
| 18 | 9 | 1,85 | 12 | 0,02 | 1,5 | 0,18 | 1,20 |
| 19 | 8 | 1,95 | 13 | 0,03 | 1,0 | 0,10 | 1,25 |
| 20 | 13 | 2,05 | 14 | 0,04 | 1,1 | 0,11 | 1,30 |
| 21 | 14 | 1,60 | 15 | 0,05 | 1,2 | 0,12 | 1,10 |
| 22 | 10 | 1,70 | 16 | 0,06 | 1,3 | 0,13 | 1,15 |
| 23 | 11 | 1,80 | 17 | 0,07 | 1,4 | 0,14 | 1,20 |
| 24 | 12 | 1,90 | 18 | 0,08 | 1,5 | 0,15 | 1,25 |
| 25 | 9 | 2,00 | 19 | 0,01 | 1,0 | 0,16 | 1,30 |
| 26 | 8 | 1,65 | 20 | 0,02 | 1,1 | 0,17 | 1,10 |
| 27 | 13 | 1,75 | 21 | 0,03 | 1,2 | 0,18 | 1,15 |
| 28 | 14 | 1,85 | 22 | 0,04 | 1,3 | 0,10 | 1,20 |
| 29 | 10 | 1,95 | 23 | 0,05 | 1,4 | 0,11 | 1,25 |
| 30 | 11 | 2,05 | 24 | 0,06 | 1,5 | 0,12 | 1,30 |
| 31 | 12 | 1,60 | 25 | 0,07 | 1,0 | 0,13 | 1,10 |
| 32 | 8 | 1,70 | 26 | 0,08 | 1,1 | 0,14 | 1,15 |
| 33 | 13 | 1,80 | 27 | 0,01 | 1,2 | 0,15 | 1,20 |
| 34 | 14 | 1,90 | 28 | 0,02 | 1,3 | 0,16 | 1,25 |
| 35 | 10 | 2,00 | 12 | 0,03 | 1,4 | 0,17 | 1,30 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. ТКП 45-3.03-19-2006 (02250). – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2006. – 42 с.

2 Проектирование земляного полотна автомобильных дорог. П2-01. – Мн.: Ком. по автомобильным дорогам при М-ве транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2001. – 90 с.

3 Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах / Н. М. Антонов [и др.]. – М. : Транспорт, 1968. – 200 с.

4 **Ахраменко, Г. В.** Проектирование плана и продольного профиля автомобильных дорог : учеб.-метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. В. Ахраменко. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 70 с.

5 **Бабаскин, Ю. Г.** Технология строительства дорог. Практикум : учеб. пособие / Ю. Г. Бабаскин, И. И. Леонович. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 429 с.

6 **Бабков, В. Ф.** Проектирование автомобильных дорог / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М. : Транспорт, 1979. – Ч.1. – 366 с.

7 **Власов, Д. И.** Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах / Д. И. Власов, В. Н. Логинов. – М. : Транспорт, 1968. – 519 с

8 **Ксенодохов, В. И.** Таблицы для криволинейного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог : справ. /В.И. Ксенодохов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1981 – 431 с.

9 **Федотов, Г. А.** Изыскания и проектирование автомобильных дорог / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – М. : Высш. шк., 2009. – 646 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Элементы клотоид

Таблица А.1 – Основные элементы клотоиды при $\alpha = 45 \dots 90^\circ$ ($\beta = 22^\circ 30' \dots 45^\circ$)

| α | L, м | | | β | α | L, м | | | β |
|----------|--------|-------|-------|---------|----------|--------|-------|-------|---------|
| | , м | , м | , м | | | , м | , м | , м | |
| 45°0' | 78,54 | 52,79 | 26,57 | 22°30' | 64°0' | 111,70 | 75,72 | 38,38 | 32°0' |
| 45°30' | 79,41 | 53,39 | 26,88 | 22°45' | 64°30' | 112,57 | 76,33 | 38,70 | 32°15' |
| 46°0' | 80,29 | 53,98 | 27,18 | 23°0' | 65°0' | 113,45 | 76,95 | 39,01 | 32°30' |
| 46°30' | 81,16 | 54,58 | 27,48 | 23°15' | 65°30' | 114,32 | 77,56 | 39,33 | 32°45' |
| 47°0' | 82,03 | 55,18 | 27,80 | 23°30' | 66°0' | 115,19 | 78,17 | 39,65 | 33°0' |
| 47°30' | 82,90 | 55,78 | 28,10 | 23°45' | 66°30' | 116,06 | 78,79 | 39,97 | 33°15' |
| 48°0' | 83,78 | 56,37 | 28,40 | 24°0' | 67°0' | 116,94 | 79,40 | 40,29 | 33°30' |
| 48°30' | 84,65 | 56,97 | 28,71 | 24°15' | 67°30' | 117,81 | 80,02 | 40,62 | 33°45' |
| 49°0' | 85,52 | 57,57 | 29,01 | 24°30' | 68°0' | 118,68 | 80,63 | 40,94 | 34°0' |
| 49°30' | 86,39 | 58,17 | 29,32 | 24°45' | 68°30' | 119,56 | 81,25 | 41,26 | 34°15' |
| 50°0' | 87,27 | 58,77 | 29,63 | 25°0' | 69°0' | 120,43 | 81,87 | 41,58 | 34°30' |
| 50°30' | 88,14 | 59,37 | 29,93 | 25°15' | 69°30' | 121,30 | 82,48 | 41,91 | 34°45' |
| 51°0' | 89,01 | 59,97 | 30,24 | 25°30' | 70°0' | 122,17 | 83,10 | 42,23 | 35°0' |
| 51°30' | 89,88 | 60,60 | 30,55 | 25°45' | 70°30' | 123,05 | 83,72 | 42,55 | 35°15' |
| 52°0' | 90,76 | 64,17 | 30,86 | 26°0' | 71°0' | 123,92 | 84,34 | 42,88 | 35°30' |
| 52°30' | 91,63 | 61,77 | 31,17 | 26°15' | 71°30' | 124,79 | 84,96 | 43,20 | 35°45' |
| 53°0' | 92,50 | 62,37 | 31,48 | 26°30' | 72°0' | 125,66 | 85,58 | 43,53 | 36°0' |
| 53°30' | 93,38 | 62,98 | 31,79 | 26°45' | 72°30' | 126,54 | 86,20 | 43,86 | 36°15' |
| 54°0' | 94,25 | 63,58 | 32,10 | 27°0' | 73°0' | 127,41 | 86,82 | 44,18 | 36°30' |
| 54°30' | 95,12 | 64,18 | 32,41 | 27°15' | 73°30' | 128,28 | 87,44 | 44,51 | 36°45' |
| 55°0' | 95,99 | 64,79 | 32,72 | 27°30' | 74°0' | 129,15 | 88,06 | 44,84 | 37°0' |
| 55°30' | 96,87 | 65,39 | 33,03 | 27°45' | 74°30' | 130,03 | 88,69 | 45,17 | 37°15' |
| 56°0' | 97,74 | 65,99 | 33,34 | 28°0' | 75°0' | 130,90 | 89,31 | 45,50 | 37°30' |
| 56°30' | 98,61 | 66,60 | 33,65 | 28°15' | 75°30' | 131,77 | 89,93 | 45,83 | 37°45' |
| 57°0' | 99,48 | 67,20 | 33,96 | 28°30' | 76°0' | 132,65 | 90,56 | 46,16 | 38°0' |
| 57°30' | 100,36 | 67,81 | 34,28 | 28°45' | 76°30' | 133,52 | 91,18 | 46,49 | 38°15' |
| 58°0' | 101,23 | 68,41 | 34,59 | 29°0' | 77°0' | 134,39 | 91,81 | 46,82 | 38°30' |
| 58°30' | 102,10 | 69,02 | 34,90 | 29°15' | 77°30' | 135,26 | 92,44 | 47,15 | 38°45' |
| 59°0' | 102,97 | 69,63 | 35,22 | 29°30' | 78°0' | 136,14 | 93,06 | 47,48 | 39°0' |
| 59°30' | 103,85 | 70,24 | 35,53 | 29°45' | 78°30' | 137,01 | 93,69 | 47,81 | 39°15' |

| | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 60°0' | 104,72 | 70,84 | 35,85 | 30°0' | 79°0' | 137,88 | 94,32 | 48,15 | 39°30' |
| 60°30' | 105,59 | 71,45 | 36,16 | 30°15' | 79°30' | 138,75 | 94,95 | 48,48 | 39°45' |
| 61°0' | 106,47 | 72,05 | 36,48 | 30°30' | 80°0' | 139,63 | 95,58 | 48,82 | 40°0' |
| 61°30' | 107,34 | 72,70 | 36,79 | 30°45' | 80°30' | 140,50 | 96,21 | 49,15 | 40°15' |
| 62°0' | 108,21 | 73,28 | 37,11 | 31°0' | 81°0' | 141,37 | 96,84 | 49,49 | 40°30' |
| 62°30' | 109,08 | 73,89 | 37,42 | 31°15' | 81°30' | 142,24 | 97,47 | 49,83 | 40°45' |
| 63°0' | 109,96 | 74,50 | 37,74 | 31°30' | 82°0' | 143,12 | 98,10 | 50,16 | 41°0' |
| 63°30' | 110,83 | 75,11 | 38,06 | 31°45' | 82°30' | 143,99 | 98,74 | 50,50 | 41°15' |

Окончание таблицы А.1

| α | $L, м$ | | β_{\square} | α | $L, м$ | | β_{\square} | | |
|----------|--------|--------|-------------------|----------|--------|--------|-------------------|-------|--------|
| | , м | , м | | | , м | , м | | | |
| 83°0' | 144,86 | 99,37 | 50,84 | 41°30' | 87°0' | 151,84 | 104,46 | 53,57 | 43°30' |
| 83°30' | 145,74 | 100,00 | 51,18 | 41°45' | 87°30' | 152,72 | 105,10 | 53,91 | 43°45' |
| 84°0' | 146,01 | 100,64 | 51,52 | 42°0' | 88°0' | 153,59 | 105,75 | 54,26 | 44°0' |
| 84°30' | 147,48 | 101,28 | 51,86 | 42°15' | 88°30' | 154,46 | 106,39 | 54,60 | 44°15' |
| 85°0' | 148,35 | 101,91 | 52,20 | 42°30' | 89°0' | 155,33 | 107,03 | 54,95 | 44°30' |
| 85°30' | 149,23 | 102,55 | 52,54 | 42°45' | 89°30' | 156,21 | 107,67 | 55,30 | 44°45' |
| 86°0' | 150,10 | 103,19 | 52,88 | 43°0' | 90°0' | 157,08 | 108,32 | 55,65 | 45°0' |
| 86°30' | 150,97 | 103,83 | 53,23 | 43°15' | | | | | |

Таблица А.2 – Основные элементы клотоиды при $\beta = 45°30' \dots 120°$

| β_{\square} | $L, м$ | | | β_{\square} | $L, м$ | | |
|-------------------|--------|--------|-------|-------------------|--------|--------|-------|
| | м | м | м | | м | м | м |
| 45°0' | 157,08 | 108,32 | 55,65 | 64°0' | 223,40 | 160,00 | 84,62 |
| 45°30' | 158,83 | 109,61 | 56,34 | 64°30' | 225,15 | 161,45 | 85,47 |
| 46°0' | 160,57 | 110,90 | 57,04 | 65°0' | 226,89 | 162,90 | 86,32 |
| 46°30' | 162,32 | 112,20 | 57,75 | 65°30' | 228,64 | 164,36 | 87,17 |
| 47°0' | 164,06 | 113,50 | 58,45 | 66°0' | 230,38 | 165,83 | 88,03 |
| 47°30' | 165,81 | 114,80 | 59,16 | 66°30' | 232,13 | 167,30 | 88,90 |
| 48°0' | 166,55 | 116,10 | 59,87 | 67°0' | 233,87 | 168,78 | 89,77 |
| 48°30' | 169,30 | 117,41 | 60,59 | 67°30' | 235,62 | 170,26 | 90,65 |
| 49°0' | 171,04 | 118,73 | 61,31 | 68°0' | 237,37 | 171,75 | 91,53 |
| 49°30' | 172,79 | 120,04 | 62,03 | 68°30' | 239,11 | 173,25 | 92,42 |
| 50°0' | 174,53 | 121,36 | 62,76 | 69°0' | 240,86 | 174,75 | 93,32 |
| 50°30' | 176,28 | 122,69 | 63,49 | 69°30' | 242,60 | 176,26 | 94,22 |
| 51°0' | 178,02 | 124,01 | 64,22 | 70°0' | 244,35 | 177,77 | 95,13 |
| 51°30' | 179,77 | 125,35 | 64,95 | 70°30' | 246,09 | 179,30 | 96,04 |
| 52°0' | 181,51 | 126,68 | 65,69 | 71°0' | 247,84 | 180,82 | 96,96 |
| 52°30' | 183,26 | 128,02 | 66,43 | 71°30' | 249,58 | 182,36 | 97,89 |
| 53°0' | 185,01 | 129,36 | 67,18 | 72°0' | 251,33 | 183,90 | 98,82 |
| 53°30' | 186,75 | 130,71 | 67,03 | 72°30' | 253,07 | 185,45 | 99,76 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 54°0' | 188,50 | 132,06 | 68,68 | 73°0' | 254,82 | 187,01 | 100,70 |
| 54°30' | 190,24 | 133,41 | 69,44 | 73°30' | 256,56 | 188,57 | 101,66 |
| 55°0' | 191,99 | 134,77 | 70,20 | 74°0' | 258,31 | 190,14 | 102,61 |
| 55°30' | 193,73 | 136,13 | 70,97 | 74°30' | 260,05 | 191,72 | 103,58 |
| 56°0' | 195,48 | 137,50 | 71,73 | 75°0' | 261,80 | 193,30 | 104,55 |
| 56°30' | 197,22 | 138,87 | 72,51 | 75°30' | 263,55 | 194,89 | 105,53 |
| 57°0' | 198,97 | 140,25 | 73,28 | 76°0' | 265,29 | 196,50 | 106,52 |
| 57°30' | 200,71 | 141,63 | 74,06 | 76°30' | 267,04 | 198,10 | 107,52 |
| 58°0' | 202,46 | 143,01 | 74,85 | 77°0' | 268,78 | 199,72 | 108,52 |
| 58°30' | 204,20 | 144,40 | 75,64 | 77°30' | 270,53 | 201,34 | 109,53 |
| 59°0' | 205,95 | 145,79 | 76,43 | 78°0' | 272,27 | 202,98 | 110,55 |
| 59°30' | 207,69 | 147,19 | 77,23 | 78°30' | 274,02 | 204,62 | 111,57 |
| 60°0' | 209,44 | 148,59 | 78,03 | 79°0' | 275,76 | 206,27 | 112,61 |
| 60°30' | 211,19 | 150,00 | 78,84 | 79°30' | 277,51 | 207,93 | 113,65 |
| 61°0' | 212,93 | 151,41 | 79,65 | 80°0' | 279,25 | 209,59 | 114,70 |
| 61°30' | 214,68 | 153,83 | 80,46 | 80°30' | 281,00 | 211,27 | 115,76 |
| 62°0' | 216,42 | 154,25 | 81,29 | 81°0' | 282,74 | 212,95 | 116,83 |
| 62°30' | 218,17 | 155,08 | 82,11 | 81°30' | 284,49 | 214,65 | 117,90 |
| 63°0' | 219,91 | 157,12 | 82,94 | 82°0' | 286,23 | 216,35 | 118,99 |
| 63°30' | 221,66 | 158,55 | 83,78 | 82°30' | 287,98 | 218,06 | 120,08 |

Окончание таблицы А.2

| β | L, м | | | β | L, м | | |
|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | М | М | М | | М | М | М |
| 83°0' | 289,73 | 219,79 | 121,18 | 102°0' | 356,02 | 294,32 | 171,77 |
| 83°30' | 291,47 | 221,52 | 122,30 | 102°30' | 357,79 | 296,58 | 173,39 |
| 84°0' | 293,22 | 223,26 | 123,42 | 103°0' | 359,54 | 298,86 | 175,04 |
| 84°30' | 294,96 | 225,01 | 124,55 | 103°30' | 361,28 | 301,17 | 176,70 |
| 85°0' | 296,71 | 226,78 | 125,09 | 104°0' | 363,03 | 303,49 | 178,37 |
| 85°30' | 298,45 | 228,55 | 126,84 | 104°30' | 364,77 | 305,84 | 180,07 |
| 86°0' | 300,20 | 230,33 | 128,00 | 105°0' | 366,52 | 308,20 | 181,79 |
| 86°30' | 301,94 | 232,13 | 129,18 | 105°30' | 368,26 | 310,59 | 183,54 |
| 87°0' | 303,69 | 233,93 | 130,36 | 106°0' | 370,01 | 313,00 | 185,30 |
| 87°30' | 305,43 | 235,75 | 131,55 | 106°30' | 371,76 | 315,43 | 187,08 |
| 88°0' | 307,18 | 237,58 | 132,76 | 107°0' | 373,50 | 317,88 | 188,89 |
| 88°30' | 308,92 | 239,42 | 133,92 | 107°30' | 375,25 | 320,36 | 190,72 |
| 89°0' | 310,67 | 241,27 | 135,20 | 108°0' | 376,99 | 322,86 | 192,57 |
| 89°30' | 312,41 | 243,14 | 136,43 | 108°30' | 378,74 | 325,39 | 194,45 |
| 90°0' | 314,16 | 245,01 | 137,68 | 109°0' | 380,48 | 327,94 | 196,35 |
| 90°30' | 315,91 | 246,90 | 138,94 | 109°30' | 382,23 | 330,52 | 198,27 |
| 91°0' | 317,65 | 248,80 | 140,22 | 110°0' | 383,97 | 333,12 | 200,22 |
| 91°30' | 319,40 | 250,71 | 141,50 | 110°30' | 385,72 | 335,75 | 202,20 |
| 92°0' | 321,14 | 252,64 | 142,80 | 111°0' | 387,46 | 338,41 | 204,20 |
| 92°30' | 322,89 | 254,58 | 144,11 | 111°30' | 389,21 | 341,09 | 206,23 |
| 93°0' | 324,63 | 256,53 | 145,44 | 112°0' | 390,95 | 343,81 | 208,29 |
| 93°30' | 326,38 | 258,50 | 146,77 | 112°30' | 392,70 | 346,55 | 210,38 |
| 94°0' | 328,12 | 260,48 | 148,12 | 113°0' | 394,44 | 349,32 | 212,49 |

| | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 94°30' | 329,87 | 262,48 | 149,49 | 113°30' | 396,19 | 353,13 | 214,64 |
| 95°0' | 331,61 | 264,49 | 150,86 | 114°0' | 397,94 | 354,96 | 216,81 |
| 95°30' | 333,36 | 266,51 | 152,26 | 114°30' | 399,68 | 357,82 | 219,02 |
| 96°0' | 335,10 | 268,55 | 153,06 | 115°0' | 401,43 | 360,72 | 221,26 |
| 96°30' | 336,85 | 270,61 | 155,08 | 115°30' | 403,17 | 363,65 | 223,53 |
| 97°0' | 338,59 | 272,68 | 156,52 | 116°0' | 404,92 | 366,62 | 225,83 |
| 97°30' | 340,34 | 274,77 | 157,97 | 116°30' | 406,66 | 369,62 | 228,17 |
| 98°0' | 342,09 | 276,87 | 159,44 | 117°0' | 408,41 | 372,66 | 230,54 |
| 98°30' | 343,83 | 278,99 | 160,92 | 117°30' | 410,15 | 375,73 | 232,95 |
| 99°0' | 345,58 | 281,13 | 162,42 | 118°0' | 411,90 | 378,84 | 235,40 |
| 99°30' | 347,32 | 283,28 | 163,94 | 118°30' | 413,64 | 381,99 | 237,88 |
| 100°0' | 349,07 | 285,45 | 165,47 | 119°0' | 415,39 | 385,18 | 240,40 |
| 100°30' | 350,81 | 287,64 | 167,02 | 119°30' | 417,13 | 388,40 | 242,96 |
| 101°0' | 352,56 | 289,85 | 168,59 | 120°0' | 418,88 | 391,67 | 245,56 |
| 101°30' | 354,30 | 292,07 | 170,17 | | | | |