

2.3.2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ МЕТОДОМ КВАДРАТИЧЕСКИХ ПАРАБОЛ (АНТОНОВА)

Метод тангенсов используют в условиях равнинного рельефа (когда максимальные суммарные колебания отметок не превышают 40 м на 1 км дороги) и затяжных подъемах или спусках. Суть метода заключается в том, что сначала строят ломаную линию, а затем в ее углы вписывают вертикальные кривые и вносят коррективы в проектные и рабочие отметки за счет кривизны.

Метод квадратических парабол (метод Антонова). Его применение особенно эффективно в условиях сильно пересеченной местности. Суть метода заключается в том, что сначала эскизно (от руки) намечают проектную линию, а затем аппроксимируют (приближают) ее вертикальными кривыми. Значения радиусов кривых и продольных уклонов подбирают таким образом, чтобы проектная линия была наиболее плавной и ее положение не приводило к излишним объемам земляных работ. В этом методе обязательно должно соблюдаться условие – **в точках сопряжения элементов уклоны должны обязательно совпадать**.

У вертикальной кривой (ВК) имеется *вершина* – это точка O , в которой уклон касательной равен нулю. Различают восходящую и нисходящую ветви вертикальной кривой, рис. 2.3.2.1.

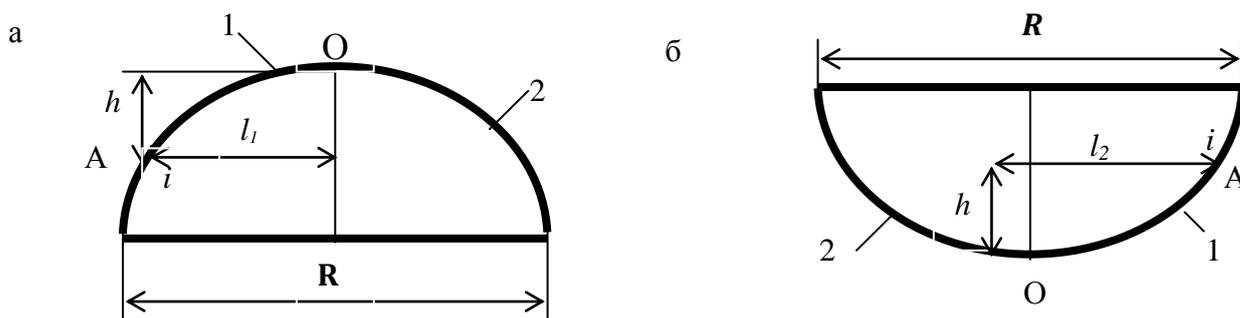


Рисунок 2.3.2.1 - Координаты точек l и h на вертикальных кривых: а – на выпуклой кривой; б – на вогнутой кривой; 1 – восходящая ветвь; 2 – нисходящая ветвь

Рассмотрим вертикальную кривую радиусом R . и на ней - точку A , касательная в которой имеет уклон i . Тогда l – расстояние от вершины кривой до точки A вычисляется по формуле

$$l = i \cdot R ;$$

Приращение отметки проектной линии в данной точке относительно отметки вершины кривой

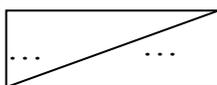
$$h = \pm \frac{l^2}{2R} ,$$

(знак «+» используется для вогнутой кривой, а знак “-” для выпуклой).

Одновременно с подбором элементов заполняют графы таблицы продольного профиля «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м» и «Отметка оси дороги, м».

Прямолинейные участки:

а) подъем



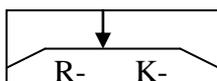
б) спуск



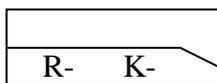
Над линией записывают величину уклона в промилле, под ней – значение длины участка в метрах.

Вертикальные кривые изображают горизонтальной линией, ограниченной с одной или двух сторон наклонными линиями, с указанием следующих величин: уклона, радиуса, длины кривой и местоположения точки с нулевыми значениями уклона, которая отмечается стрелкой. При этом могут встретиться 4 случая:

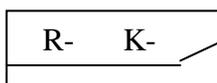
а) выпуклая кривая с восходящей и нисходящей ветвями



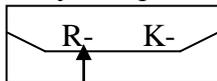
б) выпуклая кривая с нисходящей ветвью



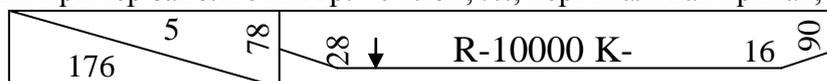
в) вогнутая кривая с восходящей ветвью



г) вогнутая кривая с восходящей и нисходящей ветвью



Рассмотрим пример заполнения гр. «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м»:



На нем показано сопряжение вертикальной кривой с прямолинейным участком, где 5 и 16 – величины уклонов; 176 – длина прямолинейного участка; 78 и 90 – привязки к пикетам; R=10000 – радиус кривой; K=16 – длина элемента; 28 – привязка к пикету вершины кривой.

Величину уклона на конце криволинейного участка можно не указывать, если смежный участок прямолинейный.

Пример построения проектной линии

1. В начале трассы проектная линия проходит через контрольную точку с отметкой $H_0=178,46$ м. Построим контрольную точку на профиле и запишем ее значение в гр. «Отметка оси дороги, м».

2. В качестве первого элемента проектной линии выберем прямолинейный участок длиной 115 м и уклоном 5‰. Изобразим его в гр. «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м». Вычислим отметку на конце элемента, т.е. на ПК 1+15:

$$H_{1+15} = 178,46 + 0,05 \cdot 115 = 179,03 \text{ м.}$$

Получившееся значение запишем в гр. «Отметка оси дороги, м».

3. В качестве второго элемента проектной линии можно выбрать выпуклую кривую радиусом 10000 м. На ПК 1+15 она сопрягается с первым элементом, т.е. прямая с уклоном 5‰ является касательной к кривой на ПК 1+15.

4. Определим пикетажное положение вершин кривой (ВК). Сначала вычислим расстояние от начала выпуклой кривой (НВК) до ее вершины с помощью формулы

$$l_1 = 0,005 \cdot 10000 = 50 \text{ м.}$$

Тогда ВК находится на ПК 1+65, так как $115+50 = 165$ м

5. Нисходящую ветвь выпуклой кривой сопряжем со следующим элементом (вогнутой кривой) в точке со значением уклона касательной, равным 35%. Тогда расстояние от ВК до КВК составит величину l_2 , равную

$$l_2 = 0,035 \cdot 10000 = 350 \text{ м.}$$

Таким образом, КВК находится на ПК 5+15, так как $165 + 350 = 515$ м. Длина элемента составит

$$K = l_1 + l_2 = 50 + 350 = 400 \text{ м.}$$

6. В гр. «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м» заносим данные для выпуклой кривой.. Стрелка соответствует положению вершины. Слева от нее в боковом положении указываем расстояние до пикета 65. На конце элемента под углом 45° указываем величину уклона 35 и в боковом положении – расстояние до пикета 15. Указываем величину радиуса кривой ($R - 10000$) и длину кривой ($K - 400$).

7. Вычисляем отметки проектной линии в вершине и на конце элемента:

$$H_{1+65} = H_{1+15} + \frac{l_1^2}{2R} = 179,03 + \frac{50^2}{2 \cdot 10000} = 179,16 \text{ м;}$$

$$H_{5+15} = H_{1+65} - \frac{l_2^2}{2R} = 179,16 - \frac{350^2}{2 \cdot 10000} = 173,04 \text{ м.}$$

Найденные значения записываем в гр. «Отметка оси дороги, м».

8. Третий элемент проектной линии представляет собой нисходящую ветвь вогнутой кривой радиусом 10000м от точки с уклоном касательной, равным 35‰, до точки с уклоном касательной, равным 4‰.

9. У этого элемента нет вершины, но для дальнейших расчетов требуется установить положение фиктивной вершины, т.е. точки с нулевым уклоном касательной. Расстояние от НВК до фиктивной вершины кривой (ФВК) найдем с помощью формулы

$$l_1 = 0,035 \cdot 10000 = 350 \text{ м.}$$

Тогда ФВК находится на ПК 8+65, так как $515 + 350 = 865$ м. Ее отметка определится следующим образом:

$$H_{8+65} = H_{5+15} - \frac{l_1^2}{2R} = 173,04 - \frac{350^2}{2 \cdot 10000} = 166,92 \text{ м.}$$

10. Определим расстояние от ФВК до точки с уклоном касательной, равным 4‰:

$$l_2 = 0,004 \cdot 10000 = 40 \text{ м.}$$

Длина элемента составит

$$K = l_1 - l_2 = 350 - 40 = 310 \text{ м.}$$

Тогда КВК находится на ПК 8+25, так как $515+310=825$ м.

Отметка проектной линии в точке КВК составит

$$H_{8+25} = H_{8+65} + \frac{l_2^2}{2R} = 166,92 + \frac{40^2}{2 \cdot 10000} = 167,00 \text{ м.}$$

11. Заполним гр. «Уклон, ‰, вертикальная кривая, м». Разница состоит лишь в том, что наклонная линия изображается слева. Запишем значения радиуса кривой ($R - 10000$) и длины элемента ($K - 350$). На конце элемента в боковом положении укажем расстояние до пикета, равное 25.

12. После того как проектная линия будет построена до конца трассы, необходимо вычислить отметки на пикетах и плюсовых точках внутри элементов.

На прямолинейном участке они вычисляются относительно отметки начала трассы 178,46 м:

$$H_{0+55} = 178,46 + 0,005 \cdot 55 = 178,44;$$

$$H_{1+00} = 178,46 + 0,005 \cdot 100 = 178,96.$$

В пределах выпуклой кривой отметки вычисляются относительно отметки вершины 179,16 м:

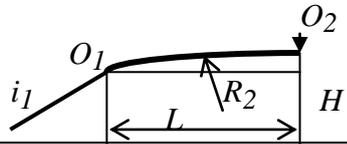
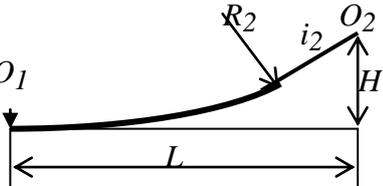
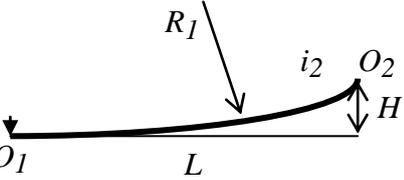
$$H_{2+00} = 179,16 - \frac{(200 - 165)^2}{2 \cdot 10000} = 179,1;$$

$$H_{3+00} = 179,16 - \frac{(300 - 165)^2}{2 \cdot 10000} = 178,25.$$

В пределах вогнутой кривой отметка устанавливается относительно отметки фиктивной вершины 166,92 м:

$$H_{6+00} = 166,92 + \frac{(865 - 600)^2}{2 \cdot 10000} = 170,43.$$

Таблица 7 -Схемы стыковки элементов

№	Левый элемент	Правый элемент	Схема стыковки	Формула
1.	Прямая с уклоном i_1	Кривая радиусом R_2		$R_2 = \frac{2 \cdot (H - i_2 \cdot L)}{i_1^2}$
2.	Кривая радиусом R_1	Прямая с уклоном i_2		$i_2 = \frac{L - \sqrt{L^2 - 2 \cdot H \cdot R_1}}{R_1}$
3.	Кривая радиусом R_1	Кривая радиусом R_2		$R_2 = R_1 - \frac{L^2}{2 \cdot H}$ В точке стыкования $i_1 = -\frac{L}{R_2 - R_1}$
4.	Кривая радиусом R_1	Точка O_2		$i_2 = \frac{L}{R_1}$ $R_1 = \frac{L}{i_2}$

