

Олійник М.О., канд. техн. наук

## МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЧЕРВОНОЇ ЛІНІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ОПУКЛИМИ ВЕРТИКАЛЬНИМИ КРИВИМИ ЗМІННОГО РАДІУСА

**Анотація.** У роботі наведено метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг кривими змінного радіуса. Досліджена зміна відстані видимості поверхні дороги при проектуванні червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг опуклими вертикальними кривими. Розроблений метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг опуклими вертикальними кривими змінного радіуса із розробкою алгоритмів визначення проектних відміток.

**Ключові слова:** метод проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг

**Аннотация.** В работе приведен метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог кривыми переменного радиуса. Исследовано изменение расстояния видимости поверхности дороги при проектировании красной линии продольного профиля автомобильных дорог выпуклыми вертикальными кривыми. Разработан *метод* проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог вогнутыми вертикальными кривыми переменного радиуса с разработкой алгоритмов определения проектных отметок.

**Ключевые слова:** метод проектирования красной линии продольного профиля автомобильных дорог

**Annotation.** The thesis covers the method of designing of the red line of longitudinal profile of roads on the basis of changing-radius curves. We also change of safe visibility distance during designing of the red line of longitudinal profile of roads using protuberant vertical curves. We developed the method of designing of the red line of longitudinal profile of roads on the basis of concave vertical changing-radius curves with elaboration of algorithm of definition marks determination.

**Key words:** design method red line longitudinal profile of highways

Збільшення інтенсивності руху на мережі автомобільних доріг викликає необхідність проведення їх реконструкції або будівництва. Основним фактором, що впливає на вартість реконструкції або будівництва є поздовжній профіль.

Проектування червоної лінії поздовжнього профілю є основним елементом по визначенню об'ємів земляних робіт. Існуючі методи проектування червоної лінії поздовжнього профілю через обмеження радіусів вертикальних кривих не завжди дозволяють запроектувати її через контрольні точки, що значно збільшує об'єми земляних робіт. Використання кривих змінного радіуса дозволяють запроектувати червону лінію через ці контрольні точки та зменшити об'єми земляних робіт.

При реконструкції автомобільних доріг керуюча відмітка визначається шаром підсилення дорожнього одягу. Червона лінія поздовжнього профілю запроектована кривими змінного радіуса дозволить максимально дотримуватись керуючої відмітки на відміну від існуючих методів проектування червоної лінії.

Для розрахунку використаємо залежності:

–рівняння кубічної параболи:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad x = L, \rightarrow \quad y = \frac{x^2}{6R}, \quad (1)$$

де  $y$  – залежить від конкретних умов проектування, наприклад:

$y = 1,2$  – око водія над поверхнею дороги, м;

– (при проектуванні водоперепускної труби, враховуються такі фактори як:

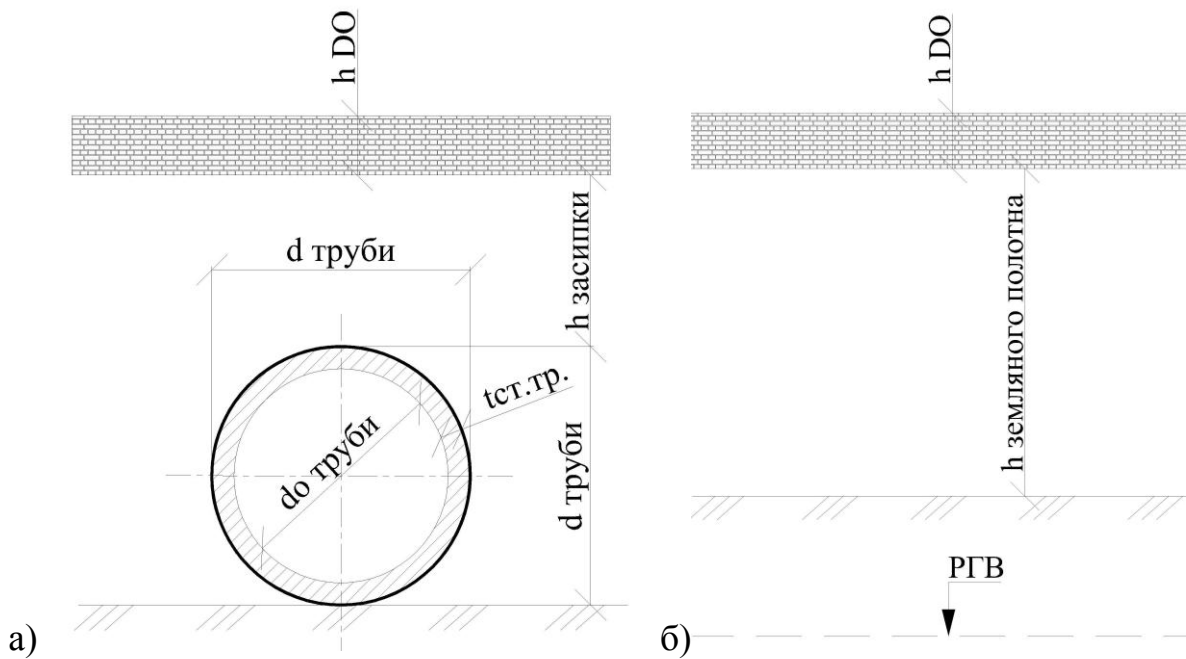
$$H_{ЗП} = d_{\text{труби}} + t_{\text{ст. тр.}} + h_{\text{засипки}} + h_{\text{ДО}}, \quad (2)$$

де  $d_{\text{труби}}$  – діаметр труби, м;

$t_{\text{ст. тр.}}$  – товщина стінки труби, мм;

$h_{\text{засипки}}$  – товщина засипки над трубою, зазвичай  $h_{\text{засипки}} = 0,5$  м;

$h_{\text{ДО}}$  – товщина дорожнього одягу, см



**Рисунок 1** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг вертикальними кривими змінного радіуса з урахуванням водоперепускної труби

– за відсутності водоперепускної труби рекомендовано взяти до уваги ДБН В.2.3-4:2007, щодо мінімально необхідної висоти земляного полотна від рівня ґрунтових вод, або поверхні землі, (табл. 6.1.):

**Таблиця 1** – Найменші підвищення поверхні покриття над розрахунковим рівнем води

Ґрунт верхньої частини земляного полотна (робочого шару)	Дорожньо-кліматична зона		
	У-І	У-ІІ	У-ІІІ
Пісок	<u>1,1</u>	<u>0,9</u>	<u>0,75</u>
	0,9	0,7	0,55
Пісок пилюватий, супісок піщанистий	<u>1,5</u>	<u>1,2</u>	<u>1,1</u>
	1,2	1,0	0,8
Суглинок піщанистий, глина	<u>2,2</u>	<u>1,8</u>	<u>1,5</u>
	1,6	1,4	1,1
Супісок пилюватий, суглинок пилюватий	<u>2,4</u>	<u>2,1</u>	<u>1,8</u>
	1,8	1,5	1,3

– з умови снігозанесення, згідно з ДБН В.2.3-4:2007, п.6.4.11.

Висоту насипу на ділянках доріг, що проходять на відкритій місцевості і заносяться снігом під час хуртовин, слід визначати розрахунком за формулою:

$$h=h_c+h_n, \quad (3)$$

де  $h$  – висота снігонезаносимого насипу, м;

$h_c$  – розрахункова висота снігового покриву в місці, де споруджується насип, з ймовірністю перевищення 5%, м. За відсутності вказаних даних допускається спрощене визначення  $h_c$  з використанням метеорологічних довідників;

$h_n$  – підвищення брівки насипу над розрахунковим рівнем снігового покриву, яке необхідне для його незанесення снігом, м.

**Примітка.** У випадку коли  $h_n$  виявляється менше підвищення брівки насипу над розрахунковим рівнем снігового покриву  $h_{nc}$  (див. нижче), у формулу (3) замість  $h_n$  вводиться  $h_{nc}$ .

Підвищення брівки насипу ( $h_n$ ) над розрахунковим рівнем снігового покриву необхідно призначати не менше:

1,0м – для доріг I-а, I-б категорій;

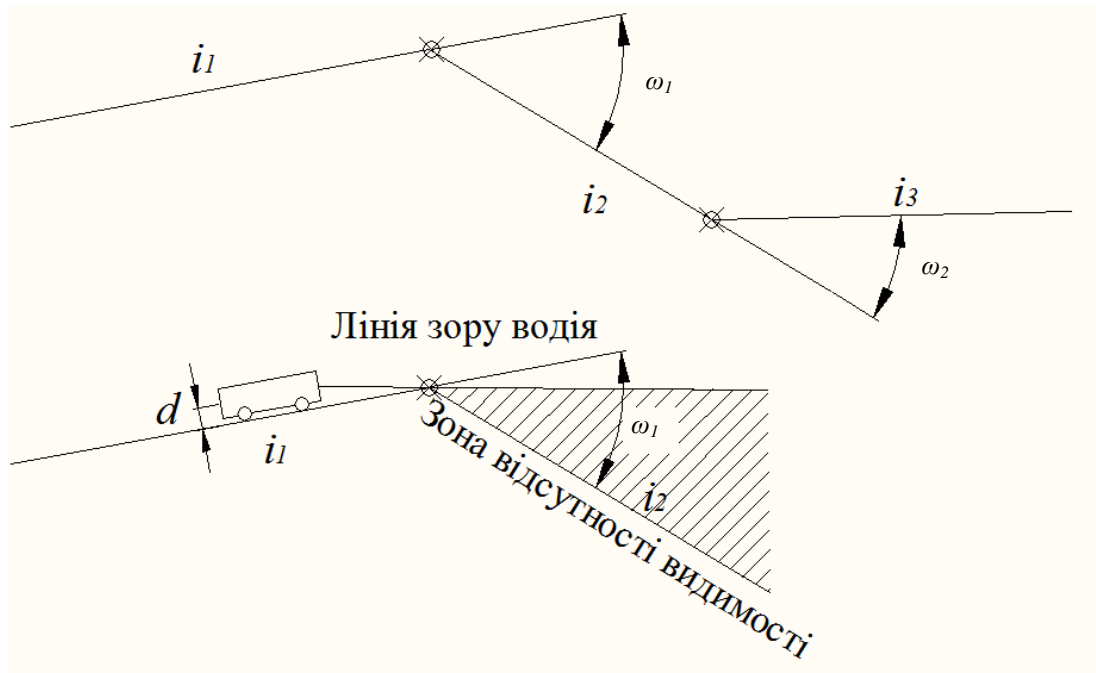
0,7м – " - " - II категорії;

0,6м – " - " - III " - ;

0,5м – " - " - IV " - ;

0,4м – " - " - V " - .

При частих переломах профілю, що виникають при проектуванні дороги по пересіченому рельєфу місцевості, поздовжній профіль отримує пилкоподібний обрис, при якому знак похилу при кожному переломі профілю може змінюватися. При пересіченні двох сусідніх ділянок поздовжнього профілю, що має різні похили, утворюється перелом. Всі переломи можна поділити на опуклі та угнуті.



**Рисунок 2** –Переломи поздовжнього профілю як перешкода для видимості

Кут перелому, (або просто перелом) виражається алгебраїчною різницею двох сусідніх похилів:

$$\omega_1 = i_1 - (-i_2) = i_1 + i_2. \quad (4)$$

Опуклий перелом є перешкодою для видимості дороги попереду автомобіля що рухається. Дослідження показали, що шляхом пом'якшення перелому покращується видимість. Опуклі переломи можуть бути поділені з точки зору забезпечення на них видимості на дві категорії:

Малі опуклі переломи на яких видимість достатня, проектують без пом'якшення перелому.

Великі опуклі переломи, на яких задана відстань видимості не забезпечується, проектуються з пом'якшенням за рахунок опуклих кривих, при умові:

$$\omega > \frac{(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}{S}, \quad (5)$$

де  $\omega$  – кути перелому між похилами і горизонтальною лінією, град;  
 $d_1$  – око водія над поверхнею дороги, м;  
 $d_2$  – висота верху перешкоди, м;  
 $S$  – відстань видимості, м.

При розрахунку необхідного радіуса може бути три випадки.

**Випадок I.** Величина перелому мала і видимість забезпечена без вставки кривої.

**Випадок II.** Довжина видимості  $S$  така, що око водія і перешкода, знаходяться у межах вертикальної кривої, тобто довжина кривої  $K$  більше видимості  $S$ .

$$R = \frac{S^2}{2(\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}, \quad (6)$$

де  $R$  – радіус вертикальної кривої, м.

Якщо  $d_2 = 0$  (видимість дороги), то

$$R = \frac{S^2}{2d_1}. \quad (7)$$

**Випадок III.** Довжина видимості  $S$  більше довжини кривої, тобто  $K < S$ .

$$R = \frac{2}{\omega} \left[ S - \frac{4d}{\omega} \right]. \quad (8)$$

$$\text{При } d_2 = 0, \quad R = \frac{2}{\omega} \left[ S - \frac{d_1}{\omega} \right]. \quad (9)$$

Видимістю поверхні дороги називається мінімальна відстань у метрах, на якій водії автомобілів повинні бачити дорогу і перешкоду на ній, щоб мати можливість прийняти заходи проти наїзду на перешкоду. Видимість є функція розрахункової швидкості руху.

Необхідна відстань видимості поверхні дороги може бути встановлена з умов можливої зупинки автомобіля, що рухається з розрахунковою швидкістю, та з умови об'їзду перешкоди.

**Таблиця 2** – Радіуси опуклих вертикальних кривих у поздовжньому профілі, що залежать від відстані видимості поверхні дороги (ДБН В.2.3 – 4:2007)

Найменування елементів	Радіуси опуклих вертикальних кривих у поздовжньому профілі, м;									
	30000	25000	15000	12500	10000	7500	5000	2500	1500	600
Найменша відстань видимості, м:										
поверхні дороги, м;	300	300	250	225	200	175	150	85	75	45

Радіуси опуклих вертикальних кривих визначаються з умови відстані видимості поверхні дороги:

Для розрахунку використаємо залежності:

–рівняння кубічної параболи:

$$y = \frac{x^3}{6RL}, \quad x = L \rightarrow y = \frac{x^2}{6R}, \text{ де } y=1,2; \quad R = \frac{S^2}{1,2},$$

де  $S$  – відстань видимості, м;

$y=1,2$  – око водія над поверхнею дороги, м.

$$L_{кр(заг)} = (i_1 \pm i_2) \times R; \quad L_{кр} = \frac{(i_1 \pm i_2) \times R}{2}; \quad (10)$$

$$y = \frac{x^2}{6R}; \quad \frac{L_{кр}}{R} = \frac{\left(\frac{(i_1 \pm i_2) \times R}{2}\right)^2}{6R}; \quad 24y = \frac{(i_1 \pm i_2)^2 \times R}{6R}; \quad (11)$$

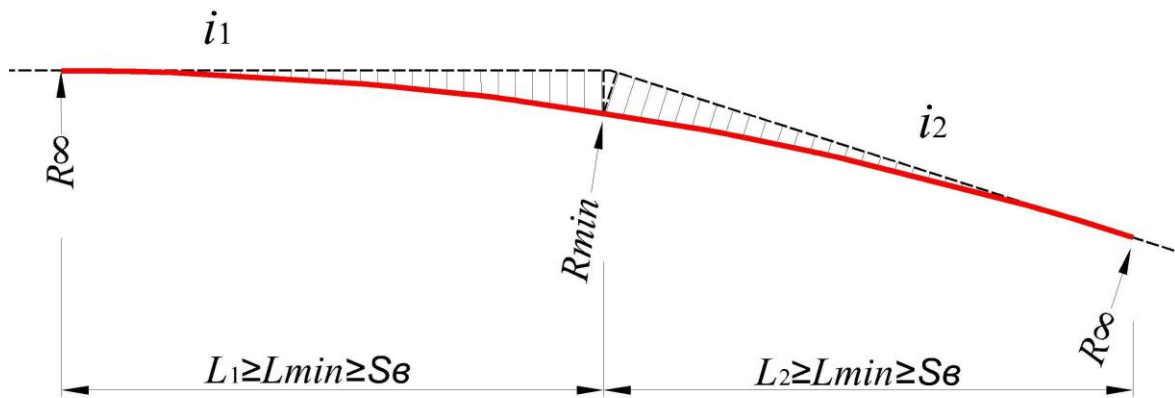
$$y = \frac{(i_1 \pm i_2)^2 \times R}{24}; \quad (12)$$

$$R = \frac{24 \times y}{(i_1 \pm i_2)^2}. \quad (13)$$

Розглянемо такі методи проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг:

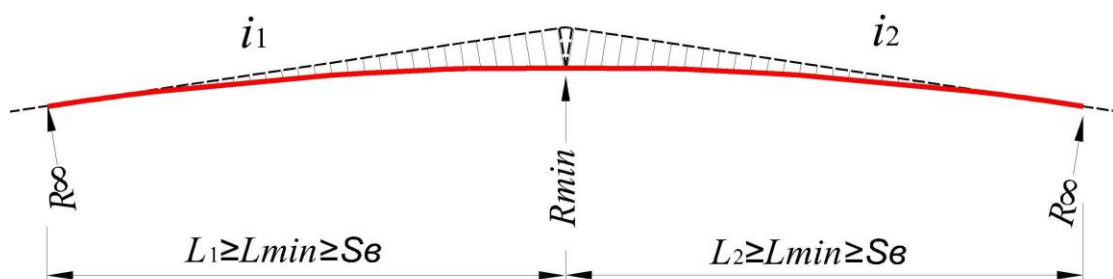
– за мінімальною довжиною кривої при умові зміни  $RC(\infty, Rmin] \cup [Rmin, \infty)$ :

Випадок I. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах один з яких дорівнює нулю ( $i_1 = +i_1, i_2 = 0$ ). При умові зміни  $RC(\infty, Rmin] \cup [Rmin, \infty)$ .



**Рисунок 3** –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах один з яких дорівнює нулю ( $i_1 = +i_1, i_2 = 0$ )

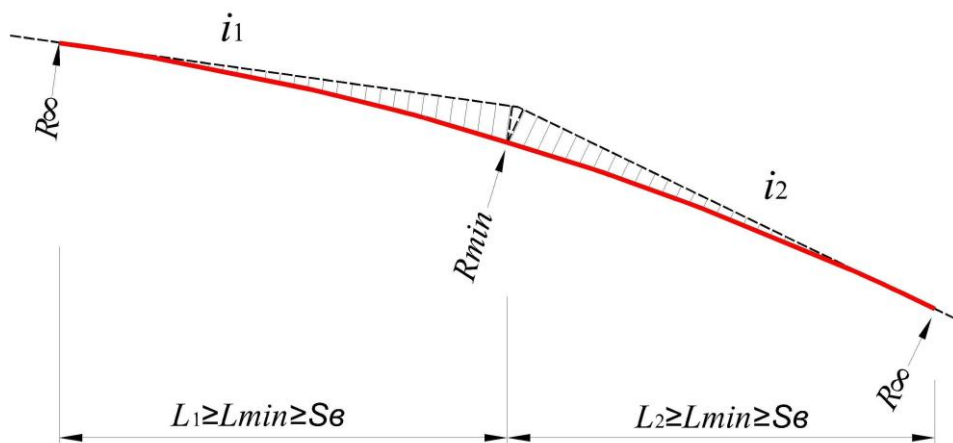
Випадок II. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в різних напрямках ( $i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$ ). При умові зміни  $RC(\infty, Rmin] \cup [Rmin, \infty)$ .



**Рисунок 4** –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = +i_1, i_2 = -i_2$ )

Випадок III. Проектування червоної лінії поздовжнього профілю автомобільних доріг блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса (за мінімальною довжиною), при похилах в один бік ( $i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$ ). При умові зміни  $RC(\infty, Rmin] \cup [Rmin, \infty)$ .





**Рисунок 5** –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, за мінімальною довжиною, яка дорівнює кроку проектування, при похилах в один бік ( $i_1 = +i_1, i_2 = +i_2$ )

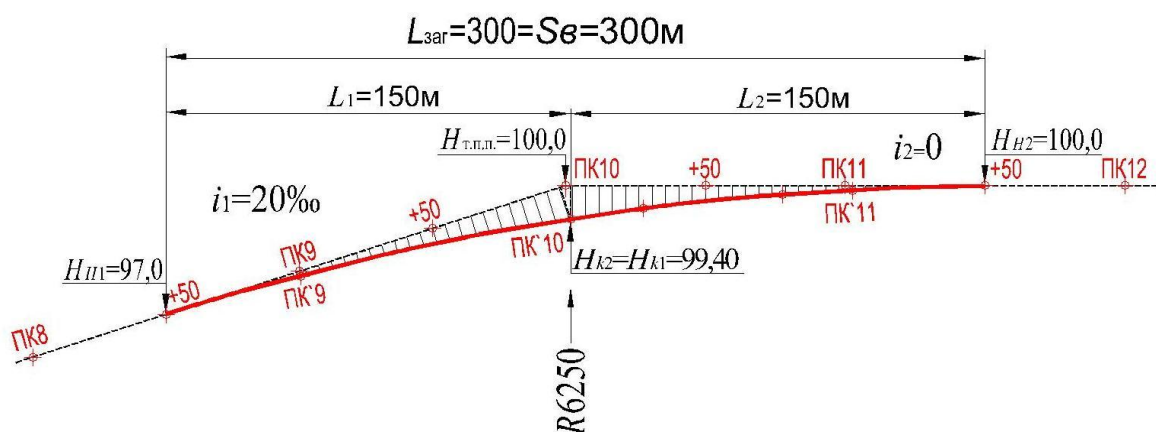
**Приклад 1.**

Наприклад, дано:  $i_1 = 0\text{‰}$ ,  $i_2 = 20\text{‰}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v = 300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V = 150\text{км/Г}$ ):

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V = 150\text{км/Г}$ .

У випадку  $y = 0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 0\text{‰}$ ,  $i_2 = 20\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v = 300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V = 150\text{км/Г}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ .



**Рисунок 6** –Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах один з яких дорівнює нулю ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 0\text{‰}$ )

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = 150\text{м}; \quad 0.6 = \frac{150^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{150^2}{6 \times 0.6} = \frac{150^2}{3.6} = 6250\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 150 \times 0,02 = 97,0\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 150 = \text{ПК } 8+50; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 97,0 + 50 \times 0,02 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 97,933;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,0 + 100 \times 0,02 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 97,733;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,0 + 150 \times 0,02 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 150 = \text{ПК } 11+50; \text{ПК}11+50 = 100,0;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 99,933;$$

$$\text{ПК}10+50 = 100,0 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 99,733;$$

$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4.$$

Задаємося залежністю радіуса опуклої вертикальної кривої від існуючих похилів та враховуючи що довжина кривої має бути не менше відстані видимості, яка буде визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$

У випадку  $y = 0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 0\text{‰}$ ,  $i_2 = 20\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v=300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м.}$

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0 + 0,02)^2} = 36000;$$

$$L_{заг.кривої} = (i_1 + i_2) \times R = (0 + 0,02) \times 36000 = 720; \quad L_{кр.} = \frac{L_{заг.кривої}}{2} = 360;$$

$$H_1 = 100,0 - 360 \times 0,02 = 92,80\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 360 = \text{ПК } 6+40; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}6+50 = 92,80 + 10 \times 0,02 - \frac{20^2}{6 \times 36000} = 93,00;$$

$$\text{ПК}7+00 = 92,80 + 60 \times 0,02 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 93,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 92,80 + 160 \times 0,02 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 95,88;$$

$$\text{ПК}9+00 = 92,80 + 260 \times 0,02 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 97,69;$$

$$\text{ПК}10+00 = 92,80 + 360 \times 0,02 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 360 = \text{ПК } 13+60; \text{ПК}13+60 = 100,0;$$

$$\text{ПК}13+00 = 100,0 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 99,98;$$

$$\text{ПК}12+00 = 100,0 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 99,88;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 99,68;$$

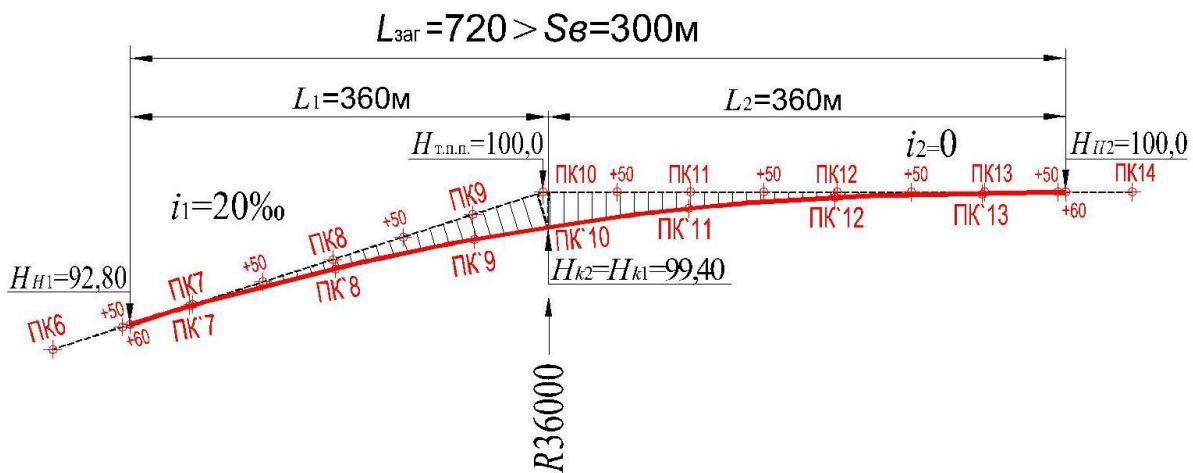
$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,4.$$

У випадку  $y = 1,2\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 0\%$ ,  $i_2 = 20\%$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_B = 300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V = 150\text{км/Г}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ ).

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0 + 0,02)^2} = 72000\text{м};$$

$$L_{кр.зас.} = (i_1 + i_2) \times R = (0 + 0,02) \times 72000 = 1440\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.зас.}}{2} = 720\text{м};$$



**Рисунок 7** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса при похилах один з яких дорівнює нулю ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 0\text{‰}$ )

$$H_1 = 100,0 - 720 \times 0,02 = 85,60\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 720 = \text{ПК } 2+80; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}3+00 = 85,60 + 20 \times 0,02 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 85,99;$$

$$\text{ПК}4+00 = 85,60 + 120 \times 0,02 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 87,97;$$

$$\text{ПК}5+00 = 85,60 + 220 \times 0,02 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 89,88;$$

$$\text{ПК}6+00 = 85,60 + 320 \times 0,02 - \frac{320^2}{6 \times 72000} = 91,76;$$

$$\text{ПК}7+00 = 85,60 + 420 \times 0,02 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 93,59;$$

$$\text{ПК}8+00 = 85,60 + 520 \times 0,02 - \frac{520^2}{6 \times 72000} = 95,37;$$

$$\text{ПК}9+00 = 85,60 + 620 \times 0,02 - \frac{620^2}{6 \times 72000} = 97,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 85,60 + 720 \times 0,02 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 720 = \text{ПК } 17+20; \text{ПК}17+20 = 100,0;$$

$$\text{ПК}17+00 = 100,0 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 99,99;$$

$$\text{ПК}16+00 = 100,0 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 99,96;$$

$$\text{ПК}15+00 = 100,0 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 99,88;$$

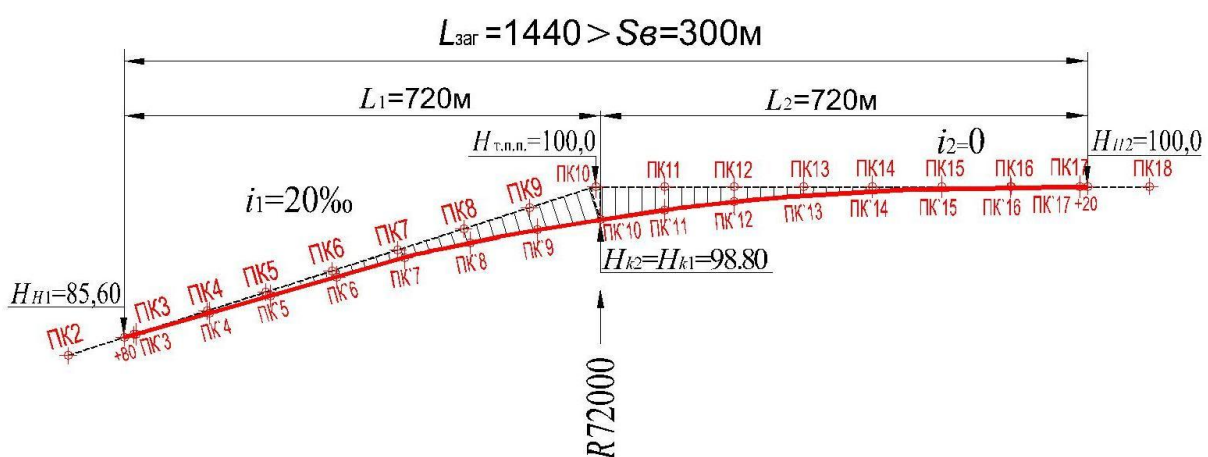
$$\text{ПК}14+00 = 100,0 - \frac{320^2}{6 \times 72000} = 99,76;$$

$$\text{ПК}13+00 = 100,0 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 99,59;$$

$$\text{ПК}12+00 = 100,0 - \frac{520^2}{6 \times 72000} = 99,37;$$

$$\text{ПК}11+00 = 100,0 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 99,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 100,0 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,8.$$



**Рисунок 8** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса при похилах один з яких дорівнює нулю ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 0\text{‰}$ )

## Приклад 2.

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V=120\text{км/Г.}$

У випадку  $\gamma=0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v=250\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V=120\text{км/Г}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ ).

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = \frac{250}{2} = 125\text{м}; \quad 0.6 = \frac{125^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{125^2}{6 \times 0.6} = \frac{125^2}{3.6} = 4340\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 125 \times 0,02 = 97,50\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 125 = \text{ПК } 8+75; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 97,50 + 25 \times 0,02 - \frac{25^2}{6 \times 4340} = 97,97;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,50 + 75 \times 0,02 - \frac{75^2}{6 \times 4340} = 98,78;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,50 + 125 \times 0,02 - \frac{125^2}{6 \times 4340} = 99,40;$$

$$H_1 = 100,0 - 125 \times 0,03 = 96,25\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 125 = \text{ПК } 11+25; \quad \text{ПК}11+25 = 96,25;$$

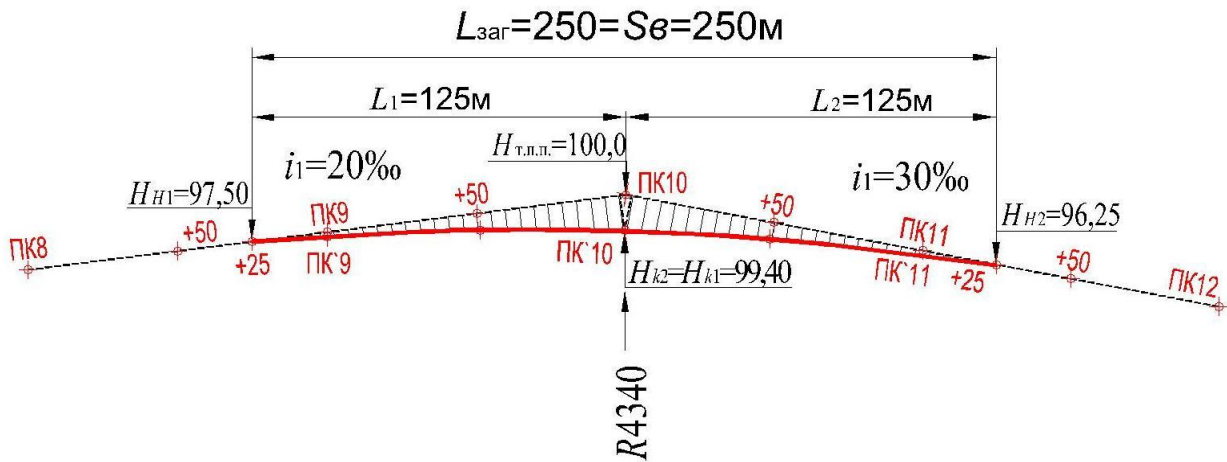
$$\text{ПК}11+00 = 96,25 + 25 \times 0,03 - \frac{25^2}{6 \times 4340} = 96,97;$$

$$\text{ПК}10+50 = 96,25 + 75 \times 0,03 - \frac{75^2}{6 \times 4340} = 98,28;$$

$$\text{ПК}10+00 = 96,25 + 125 \times 0,03 - \frac{125^2}{6 \times 4340} = 99,40;$$

Задаємось залежністю радіуса опуклої вертикальної кривої від існуючих похилів та враховуючи що довжина кривої має бути не менше відстані

видимості, яка буде визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V=120\text{км/Г.}$



**Рисунок 9** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ )

У випадку  $y = 0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м.}$

$$R = \frac{24 \times 0,6}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0,02 + 0,03)^2} = 5760\text{м};$$

$$L_{кр.заг.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,02 + 0,03) \times 5760 = 288\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.заг.}}{2} = 144\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 144 \times 0,02 = 97,12\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 144 = \text{ПК } 8+56; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК} 8+75 = 97,12 + 19 \times 0,02 - \frac{19^2}{6 \times 5760} = 97,49;$$

$$\text{ПК} 9+00 = 97,12 + 44 \times 0,02 - \frac{44^2}{6 \times 5760} = 97,94;$$

$$\text{ПК}9+50 = 97,12 + 94 \times 0,02 - \frac{94^2}{6 \times 5760} = 98,74;$$

$$\text{ПК}10+00 = 97,12 + 144 \times 0,02 - \frac{144^2}{6 \times 5760} = 99,40;$$

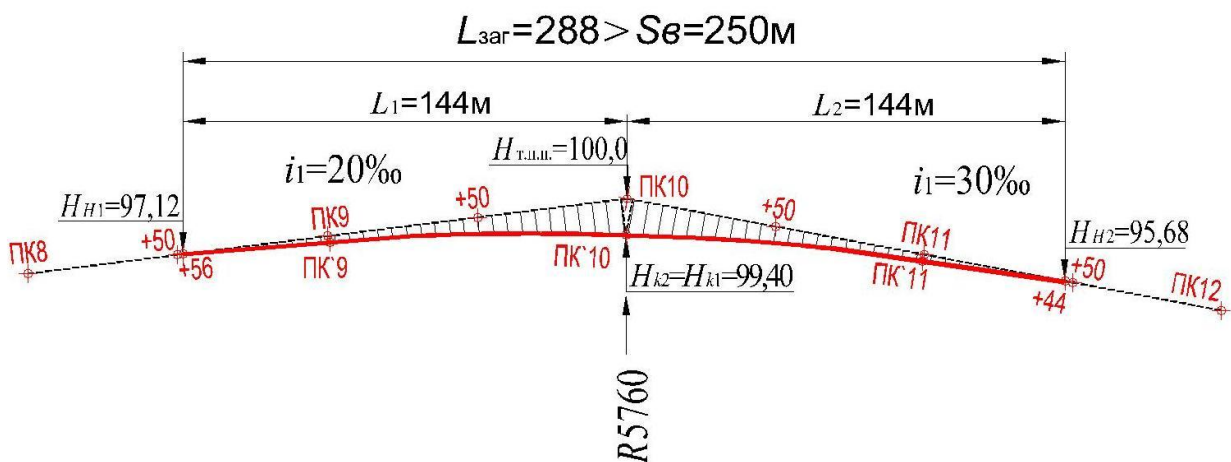
$$H_2 = 100,0 - 144 \times 0,03 = 95,68\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК}10+00 + 144 = \text{ПК}11+44; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК}11+44;$$

$$\text{ПК}10+50 = 95,68 + 50 \times 0,03 - \frac{50^2}{6 \times 5760} = 97,11;$$

$$\text{ПК}11+00 = 95,68 + 100 \times 0,03 - \frac{100^2}{6 \times 5760} = 98,39;$$

$$\text{ПК}11+44 = 95,68 + 144 \times 0,03 - \frac{144^2}{6 \times 5760} = 99,40;$$



**Рисунок 10** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ )

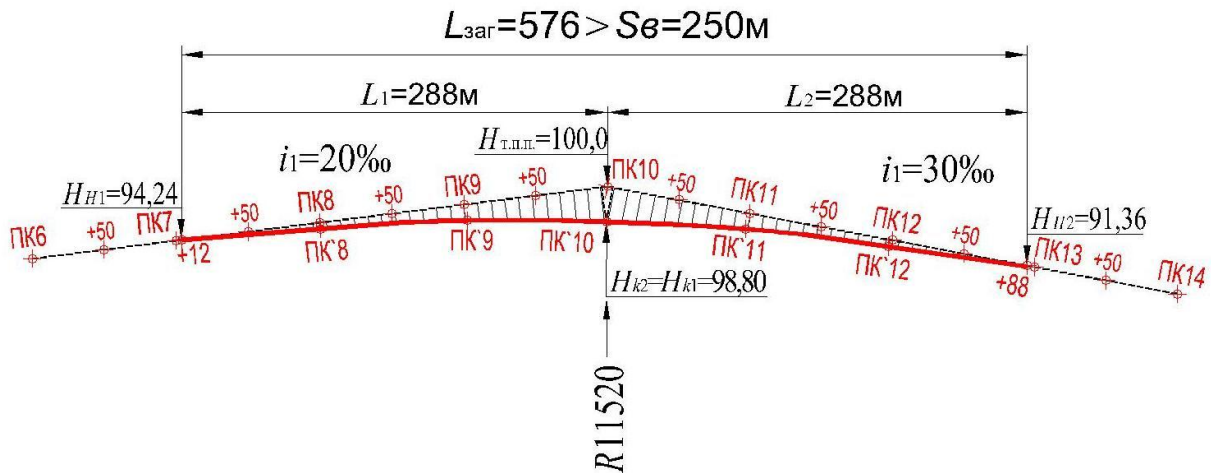
У випадку  $y = 1,2\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ .

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 + i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0,02 + 0,03)^2} = 11520\text{м};$$



$$L_{кр.зая.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,02 + 0,03) \times 11520 = 576\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.зая.}}{2} = 288\text{м};$$



**Рисунок 11** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 20\text{‰}$ ,  $i_2 = 30\text{‰}$ )

$$H_1 = 100,0 - 288 \times 0,02 = 94,24\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 288 = \text{ПК } 7+12; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}7+50 = 94,24 + 38 \times 0,02 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 94,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 94,24 + 88 \times 0,02 - \frac{88^2}{6 \times 11520} = 95,89;$$

$$\text{ПК}9+00 = 94,24 + 188 \times 0,02 - \frac{188^2}{6 \times 11520} = 97,49;$$

$$\text{ПК}10+00 = 94,24 + 288 \times 0,02 - \frac{288^2}{6 \times 11520} = 98,80;$$

$$H_2 = 100,0 - 288 \times 0,03 = 91,36\text{м};$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК}10+00 + 288 = \text{ПК}12+88; \quad \text{КК}_2 \text{ ПК}12+88$$

$$\text{ПК}12+50 = 91,36 + 38 \times 0,03 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 92,48;$$

$$\text{ПК}12+00 = 91,36 + 88 \times 0,03 - \frac{88^2}{6 \times 11520} = 93,89;$$

$$\text{ПК}11+00 = 91,36 + 188 \times 0,03 - \frac{188^2}{6 \times 11520} = 96,49;$$

$$\text{ПК}10+00 = 91,36 + 288 \times 0,03 - \frac{38^2}{6 \times 11520} = 98,80;$$

### Приклад 3.

Задаємось залежністю довжини опуклої вертикальної кривої змінного радіуса від відстані видимості, яка буда визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$

У випадку  $y=0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v=300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м.}$

$$L_{кр.} = \frac{S}{2} = 150\text{м}; \quad 0.6 = \frac{150^2}{6 \times R}; \quad R = \frac{150^2}{6 \times 0.6} = \frac{150^2}{3.6} = 6250\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 150 \times 0,03 = 95,5\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 150 = \text{ПК } 8+50; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}9+00 = 95,5 + 50 \times 0,03 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 96,93;$$

$$\text{ПК}9+50 = 95,5 + 100 \times 0,03 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 92,23;$$

$$\text{ПК}10+00 = 95,5 + 150 \times 0,03 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,4;$$

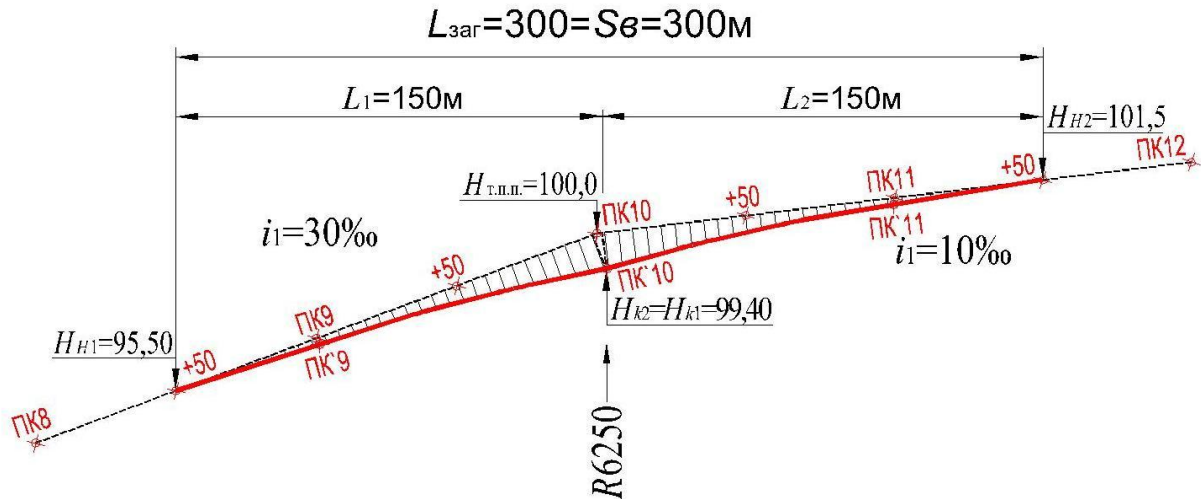
$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 150 = \text{ПК } 11+50; \text{ПК}11+50 = 101,50;$$

$$H_2 = 100,0 + 150 \times 0,01 = 101,5\text{м};$$

$$\text{ПК}11+00 = 101,5 - 50 \times 0,01 - \frac{50^2}{6 \times 6250} = 100,93;$$

$$\text{ПК}10+50 = 101,5 - 100 \times 0,01 - \frac{100^2}{6 \times 6250} = 100,23;$$

$$\text{ПК}10+00 = 101,5 - 150 \times 0,01 - \frac{150^2}{6 \times 6250} = 99,40.$$



**Рисунок 12** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ )

Задаємось залежністю радіуса опуклої вертикальної кривої від існуючих похилів та враховуючи що довжина кривої має бути не менше відстані видимості, яка буде визначена відповідно для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$

У випадку  $y = 0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_в=300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/Г.}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ )

$$R = \frac{24 \times 0,6}{(i_1 - i_2)^2} = \frac{24 \times 0,6}{(0,03 - 0,01)^2} = 36000\text{м};$$

$$L_{кр.заг.} = (i_1 - i_2) \times R = (0,03 - 0,01) \times 36000 = 720\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.заг.}}{2} = 360\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 360 \times 0,03 = 89,20\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 180 = \text{ПК } 6+40; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}7+00 = 89,20 + 60 \times 0,03 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 90,98;$$

$$\text{ПК}8+00 = 89,20 + 160 \times 0,03 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 93,88;$$

$$\text{ПК}9+00 = 89,20 + 260 \times 0,03 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 96,68;$$

$$\text{ПК}10+00 = 89,20 + 360 \times 0,03 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 360 = \text{ПК } 13+60; \text{ПК}13+60 = 103,60\text{м};$$

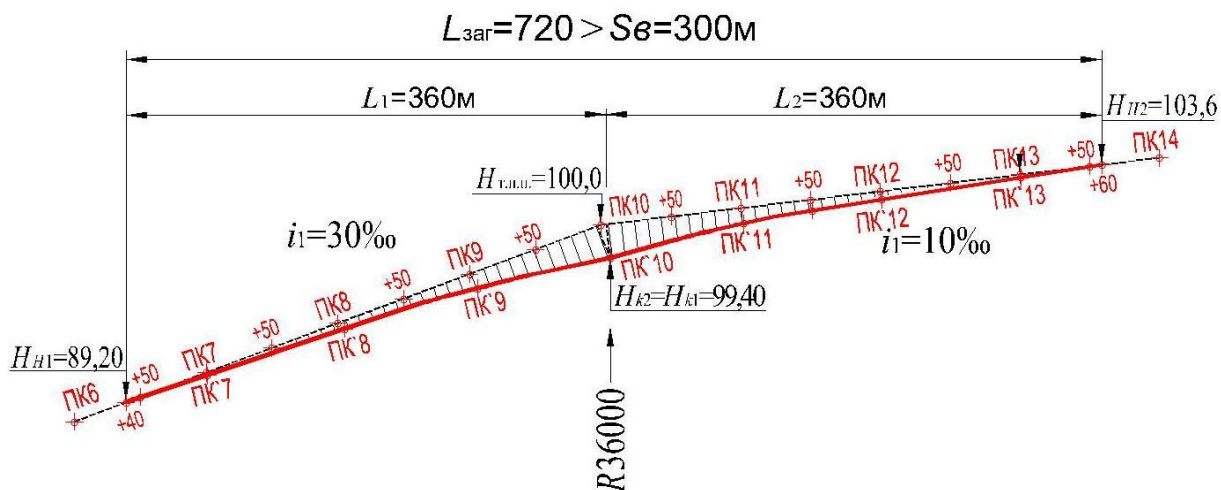
$$H_2 = 100,0 + 360 \times 0,01 = 103,60\text{м};$$

$$\text{ПК}13+00 = 103,60 - 60 \times 0,01 - \frac{60^2}{6 \times 36000} = 102,98;$$

$$\text{ПК}12+00 = 103,60 - 160 \times 0,01 - \frac{160^2}{6 \times 36000} = 101,88;$$

$$\text{ПК}11+00 = 103,60 - 260 \times 0,01 - \frac{260^2}{6 \times 36000} = 100,68;$$

$$\text{ПК}10+00 = 103,60 - 360 \times 0,01 - \frac{360^2}{6 \times 36000} = 99,40.$$



**Рисунок 13** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ )

У випадку  $y = 0,6\text{м}$  для однієї кривої.

$i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ , відстань видимості поверхні дороги  $S_v=300\text{м}$  (для розрахункової швидкості  $V=150\text{км/г}$ ,  $H_{m.n.n.} = 100,00\text{м}$ )

$$R = \frac{24 \times 1,2}{(i_1 - i_2)^2} = \frac{24 \times 1,2}{(0,03 - 0,01)^2} = 72000\text{м};$$

$$L_{кр.заг.} = (i_1 + i_2) \times R = (0,03 - 0,01) \times 72000 = 1440\text{м}; \quad L_{кр.} = \frac{L_{кр.заг.}}{2} = 720\text{м};$$

$$H_1 = 100,0 - 720 \times 0,03 = 78,40\text{м};$$

$$\text{ПК}_1 \text{ ПК } 10+00 - 720 = \text{ПК } 1+80; \quad \text{КК}_1 \text{ ПК } 10+00;$$

$$\text{ПК}2+00 = 78,40 + 20 \times 0,03 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 78,99;$$

$$\text{ПК}3+00 = 78,400 + 120 \times 0,03 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 81,36;$$

$$\text{ПК}4+00 = 78,40 + 220 \times 0,03 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 84,88;$$

$$\text{ПК}6+00 = 78,40 + 420 \times 0,03 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 90,59;$$

$$\text{ПК}8+00 = 78,400 + 620 \times 0,03 - \frac{620^2}{6 \times 36000} = 96,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 78,40 + 720 \times 0,03 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80;$$

$$\text{ПК}_2 \text{ ПК } 10+00; \text{КК}_2 \text{ ПК } 10+00 + 720 = \text{ПК } 17+20; \text{ПК}17+20 = 107,20\text{м};$$

$$H_2 = 100,0 + 720 \times 0,01 = 107,20\text{м};$$

$$\text{ПК}17+00 = 107,20 - 20 \times 0,01 - \frac{20^2}{6 \times 72000} = 106,89;$$

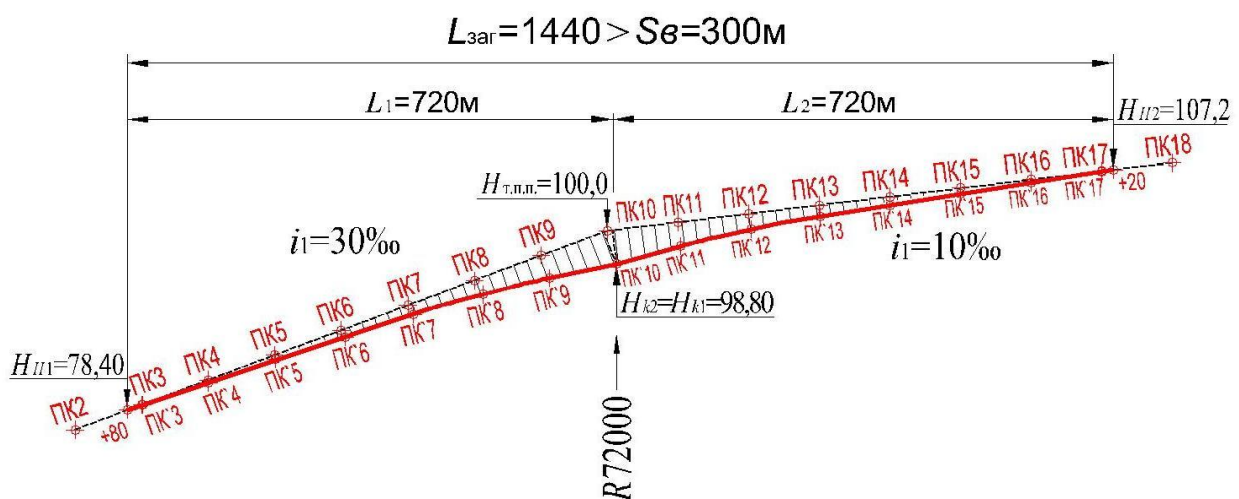
$$\text{ПК}16+00 = 107,20 - 120 \times 0,01 - \frac{120^2}{6 \times 72000} = 105,96;$$

$$\text{ПК}15+00 = 107,20 - 220 \times 0,01 - \frac{220^2}{6 \times 72000} = 104,88;$$

$$\text{ПК}13+00 = 107,20 - 420 \times 0,01 - \frac{420^2}{6 \times 72000} = 102,59;$$

$$\text{ПК}11+00 = 107,20 - 620 \times 0,01 - \frac{620^2}{6 \times 72000} = 100,11;$$

$$\text{ПК}10+00 = 107,20 - 720 \times 0,01 - \frac{720^2}{6 \times 72000} = 98,80.$$



**Рисунок 14** – Проектування червоної лінії поздовжнього профілю блоком з двох опуклих кривих змінного радіуса, при похилах в різних напрямках ( $i_1 = 30\text{‰}$ ,  $i_2 = 10\text{‰}$ )