

Методология проектирования

© Профиль трубопровода, 2023

<https://plprofile.net>



Содержание

1 Методология проектирования

1.1	Плановые углы.....	3
1.2	Вертикальные углы.....	4
1.3	Совмещенные углы.....	11
1.4	Отметки низа трубы.....	11
1.5	Оформление вертикальных углов.....	16

1 Методология проектирования

Действующая нормативно-техническая документация не содержит методики расчета, а также требований к оформлению продольных профилей линейной части трубопроводов, за исключением трубопроводов газоснабжения, оформляемых по ГОСТ 21.610-85 "СПДС. Газоснабжение, наружные газопроводы. Рабочие чертежи". В то же время существует общепринятая практика оформления продольных профилей. В данном разделе приведены формулы, использованные в расчетах и элементы оформления расчетов, реализованные в программном обеспечении.

1.1 Плановые углы

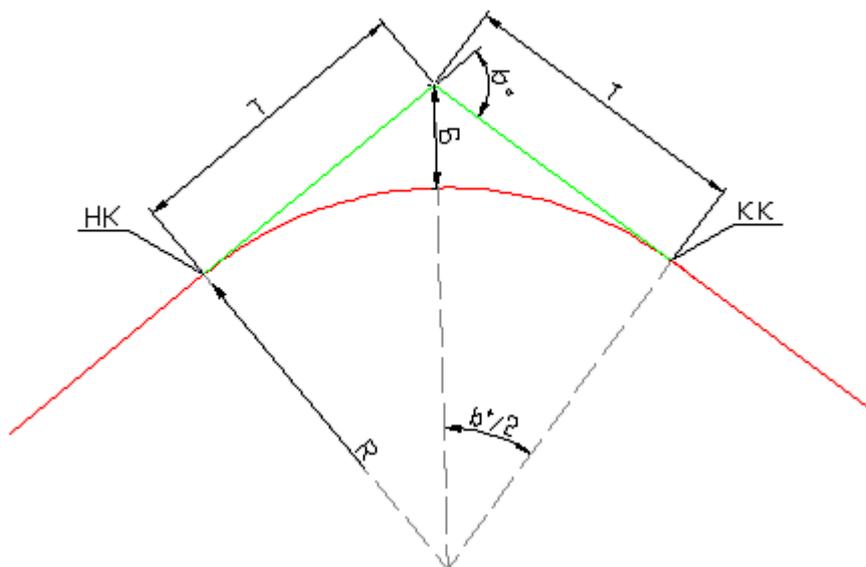
Углы естественного изгиба

Расчет параметров естественных горизонтальных углов выполняется "по круговым кривым" с заданным пользователем радиусом по формулам:

тангенс $T = R \times \text{tg}(\beta / 2)$, где R – радиус, β – значение горизонтального угла;

кривая $K = \frac{\pi \times R \times \beta}{180^\circ}$; биссектриса $B = R \times \left(\frac{1}{\cos(\beta / 2)} - 1 \right)$;

домер $D = 2 \times T - K$, НК – начало кривой, КК – конец кривой.



Углы холодного гнутья

Расчет значений параметров углов из кривых по ГОСТ 24950-81/ ОТТ-23.040.01-КТН-131-09 выполняется аналогично вертикальным углам и описан в разделе ниже.



Если радиус горизонтального угла назначен по ГОСТ 24950-81/ОТТ-23.040.01-КТН-131-09, но угол меньше одного градуса разбивка угла производится как для угла в один градус и выдается информационное сообщение.

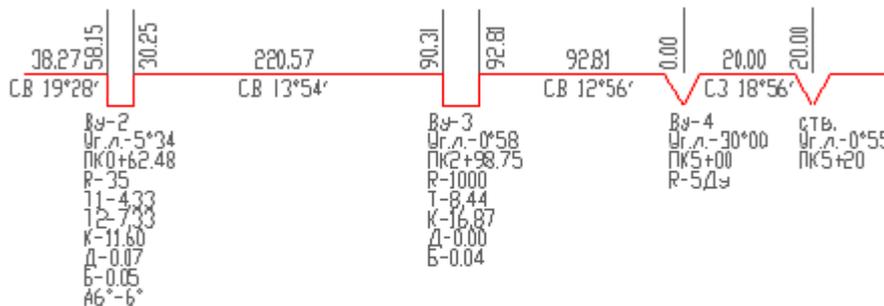
Углы горячего гнутья

Разбивка кривых искусственного горячего гнутья (отводы $R=10\text{Ду}$, 5Ду , 1.5Ду) не выполняется, значения тангенсов и биссектрисы T_1 , T_2 , B принимаются равными нулю.

Разбивка горизонтальных углов с радиусом $R=0$ не производится, такие углы рассматриваются как створные знаки. При совмещении таких углов с вертикальными углами – они не считаются совмещенными. В плановой линии для таких углов значения R , T , K , B не выписываются.

Оформление плановой линии на профиле трассы

Пример оформления плановой линии в подвале профиля приведен на рисунке ниже:



Пикетажная привязка (плюсовка) начала кривой вычисляется по формуле: $ПК_{\text{в}}-T$, где $ПК_{\text{в}}$ – пикет вершины угла, T – левый тангенс угла.

Пикетажная привязка (плюсовка) конца кривой вычисляется по формуле: $ПК_{\text{в}}-T+K$, где $ПК_{\text{в}}$ – пикет вершины угла, T – правый тангенс угла, K – длина кривой.

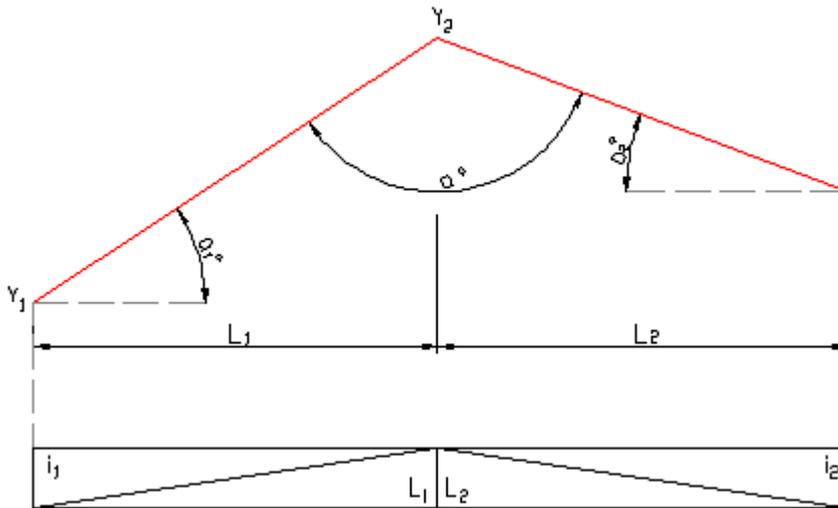
1.2 Вертикальные углы

Расчет уклонов и углов

Значение уклона вычисляется по формуле:

$$i_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{L_1}$$

где L – длина участка, Y_1, Y_2 – значения отметок в вершинах углов трубы.



Значение вертикального угла принимается равным:

$$\alpha = \alpha_1 \pm \alpha_2;$$

$$\alpha_1 = \arctg(i_1), \quad \alpha_2 = \arctg(i_2),$$

знак «-» ставится в случае, когда уклоны трубы в вертикальной плоскости одинаковы по знаку (т.е. оба возрастают или оба убывают), знак «+» ставится в противоположном случае.

Углы естественного изгиба

Расчет радиуса изгиба естественного вертикального угла профиля выполняется "по прилеганию" по формулам:

- для вогнутого угла I

$$R_{\text{в}} = 12.95 \times 3 \sqrt{\frac{(D_n^2 + D_{\text{вн}}^2) \times (1 - \cos(\alpha/2))}{\alpha^4}};$$

- для выпуклого угла I

$$R_{\text{в}} = 5.12 \times 3 \sqrt{\frac{D_n^2 + D_{\text{вн}}^2}{\alpha^2}},$$

где $D_n, D_{\text{вн}}$ – наружный и внутренний диаметры соответственно.

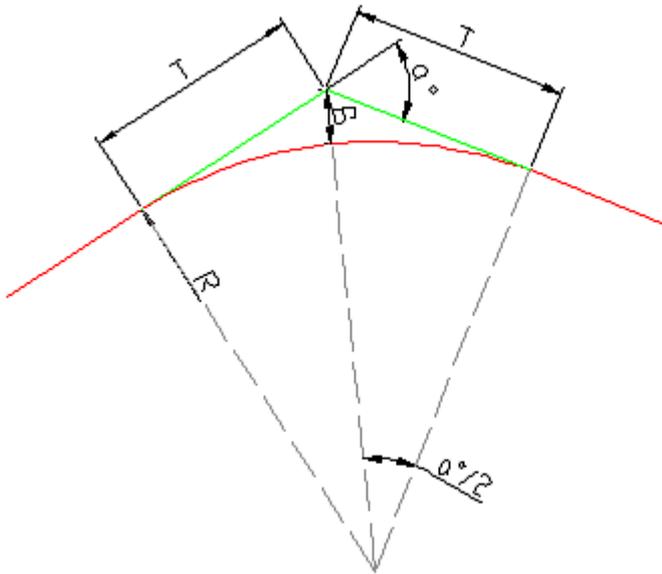
По умолчанию, если не задано иначе, минимальный радиус угла принят по СНиП III-42-80.

Параметры вертикального угла вычисляются по формулам:

тангенс $T = R \times \text{tg}(\alpha/2);$

кривая $K = \frac{\pi \times R \times \alpha}{180^0};$

биссектриса $B = R \times \left(\frac{1}{\cos(\alpha/2)} - 1 \right)$



Параметры вертикального угла искусственного гнутья (холодного или горячего) принимаются аналогично горизонтальным углам.

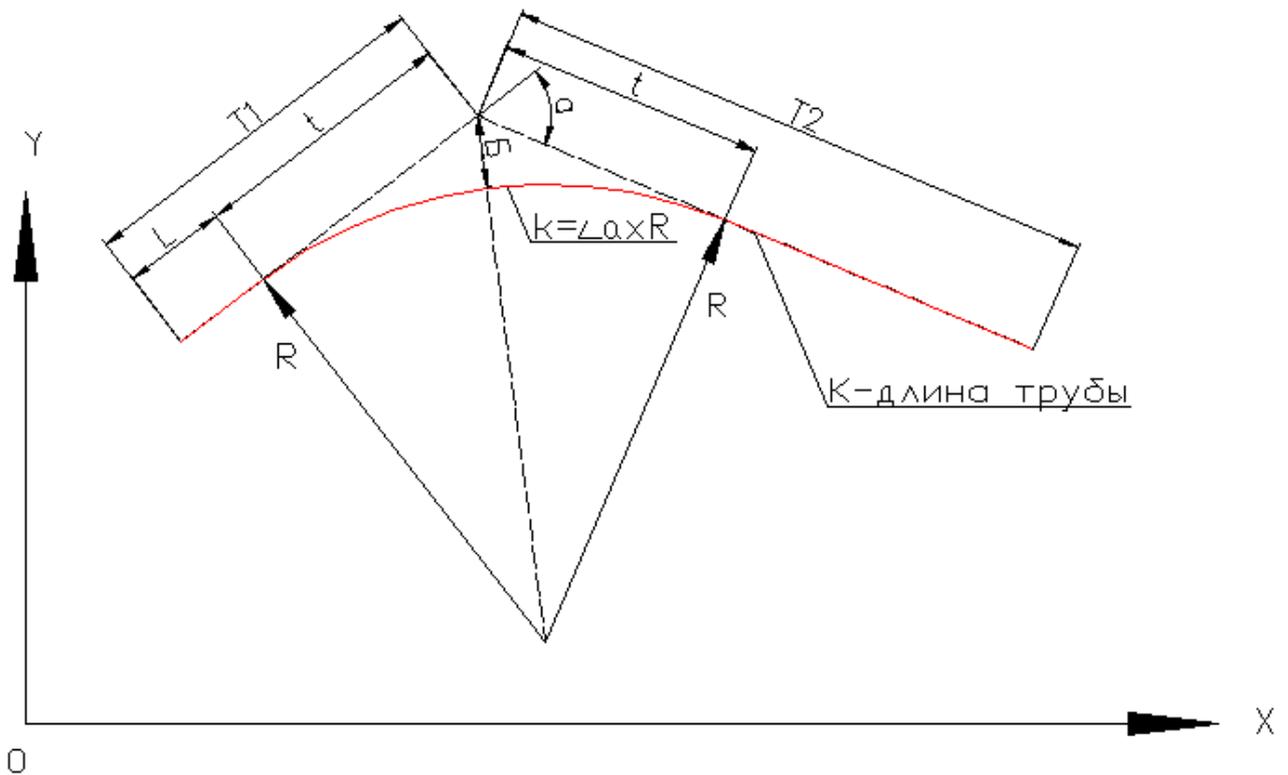
Углы холодной гибки из одной трубы

Требования к параметрам кривых в части углов гибки и минимальных длин кривых регламентированы:

- ГОСТ 24950-81 "Отводы гнутые и вставки кривые на поворотах линейной части стальных магистральных трубопроводов. Технические условия";
- ОТТ-23.040.01-КТН-131-09 "Магистральный нефтепровод. Отводы холодной гибки из стальных электросварных труб. Общие технические требования" (отраслевой документ АК "Транснефть").

Расчет параметров кривых в данных документах не приведен.

Формулы расчета параметров кривой отвода холодной гибки из одной трубы, используемые в программном обеспечении, приведены ниже.



Первый тангенс кривой:

$$T1 = L + t$$

Второй тангенс кривой:

$$T2 = K - L - k + t$$

$$k = \frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} \times R$$

Где $\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} \times R$ – длина круговой кривой с радиусом R , установленным по ГОСТ 24950 (либо заданным пользователем);

α – значение угла отвода в градусах;

L – длина прямого участка первого тангенса, принятая по умолчанию согласно таблице 1 (длина доступна для корректировки пользователем);

t – тангенс круговой кривой с радиусом R , $t = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} / 2\right) \times R$;

K – длина одной трубы из которой изготавливается отвод, принятая по умолчанию согласно требованиям ГОСТ 24950 (см.табл. 1, длина доступна для корректировки пользователем).

Таблица - 1 Требования ГОСТ 24950 и принятые длины прямых участков

Диаметр, мм	Максимальный градус гибки одной трубы, град.	Радиус гнутья ГОСТ 24950, м	Длина трубы минимальная ГОСТ 24950, м	L, длина прямого участка принятая в программном обеспечении по умолчанию, м
219	27	15	9,8	1,1
273	27	15	9,8	1,1

Диаметр, мм	Максимальный градус гибки одной трубы, град.	Радиус гнутья ГОСТ 24950, м	Длина трубы минимальная ГОСТ 24950, м	L, длина прямого участка принятая в программном обеспечении по умолчанию, м
325	27	15	9,8	1,1
377	27	15	9,8	1,1
426	21	20	9,8	1,1
530	18	25	11,6	1,1
630	– (принято 9)	– (принято 35)	11,6	2,5
720	9	35	11,6	2,5
820	9	35	11,6	2,5
1020	9	40	11,6	2,5
1067	– (принято 7)	– (принято 43)	– (принято 11,6)	2,5
1220	6	60	11,6	2,7

Согласно требованиям ОТТ-23.040.01-КТН-131-09 прямые (не изгибаемые) концы отвода должны составлять не менее 1,5 условных диаметров (1,5DN). В таблице 2 приведены требования ОТТ минимальные длины трубы и принятые значения по умолчанию.

Таблица - 2 Требования ОТТ-23.040.01-КТН-131-09 и принятые длины участков

Диаметр, мм	Максимальный градус гибки одной трубы, град.	Радиус гнутья по ОТТ, м	Длина трубы минимальная по ОТТ, м	Длина трубы принятая в программном обеспечении по умолчанию, м	L, длина прямого участка принятая в программном обеспечении по умолчанию (min по ОТТ), м
530	18	25	11,2	11,6	1,1 (min0,795)
630	9	35	11,2	11,6	2,5 (min0,945)
720	9	35	11,2	11,6	2,5 (min1,080)
820	9	35	11,2	11,6	2,5 (min1,230)
1020	7	40	11,2	11,6	2,5 (min1.530)
1067	7	43	11,2	11,6	2,5 (min1,601)
1220	6	60	11,2	11,6	2,7 (min1,830)



Длина трубы принятая в программном обеспечении по умолчанию отличается от минимальной длины по ОТТ-23.040.01-КТН-131-09 в связи с более жесткими требованиями ГОСТ 24950.

Формулы 1 и 2 примут вид:

$$T1 = L + \operatorname{tg}\left(\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} / 2\right) \times R \quad (1.1)$$

$$T2 = K - L - \frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} \times R + \operatorname{tg}\left(\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} / 2\right) \times R \quad (2.1)$$

Биссектриса угла в этом случае будет рассчитана как для угла естественного изгиба (по круговой кривой):

$$B = R \times \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\pi \times \alpha}{180^\circ} / 2\right)} - 1 \right)$$

Углы холодной гибки из двух и более труб

Приведем промежуточные расчеты, требующиеся для получения расчетных значений первого, второго тангенсов и значения биссектрисы угла.

$$\operatorname{tg}(\alpha'') = \frac{Y_B}{X_B}, \text{ тогда } \alpha'' = \operatorname{arctg}\left(\frac{Y_B}{X_B}\right)$$

$$\angle \alpha' = | \angle \alpha_1 - \angle \alpha'' |$$

$$\angle c = 180^\circ - \angle \alpha$$

$$\angle b = | \angle \alpha - \angle \alpha' |$$

Из теоремы синусов:

$$\frac{a}{\sin(a)} = \frac{b}{\sin(b)} = \frac{c}{\sin(c)}, \text{ где значения углов приведены в радианах}$$

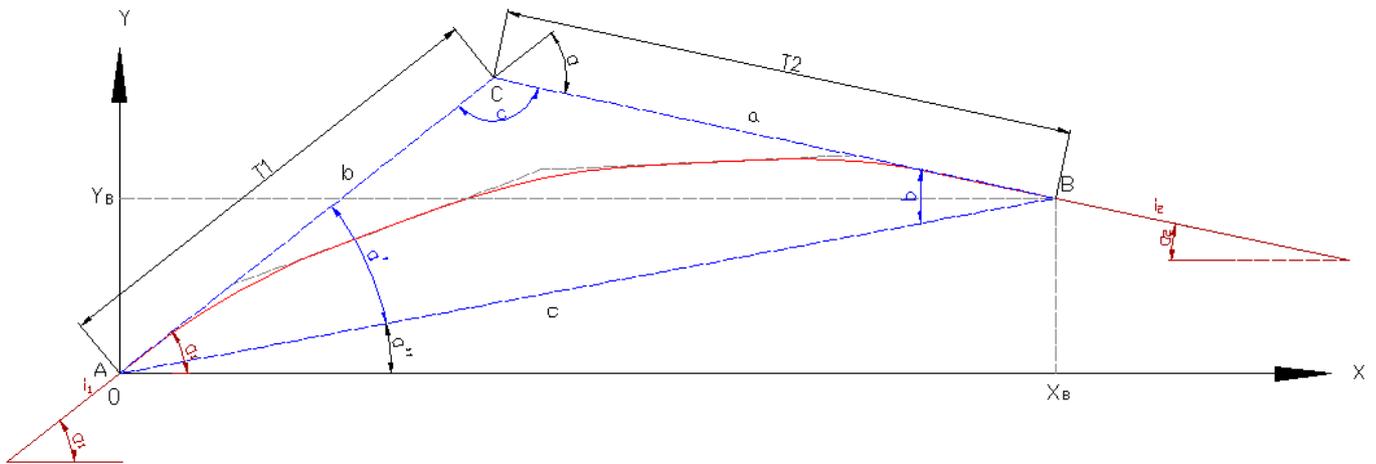


Рисунок – расчет параметров T1, T2.

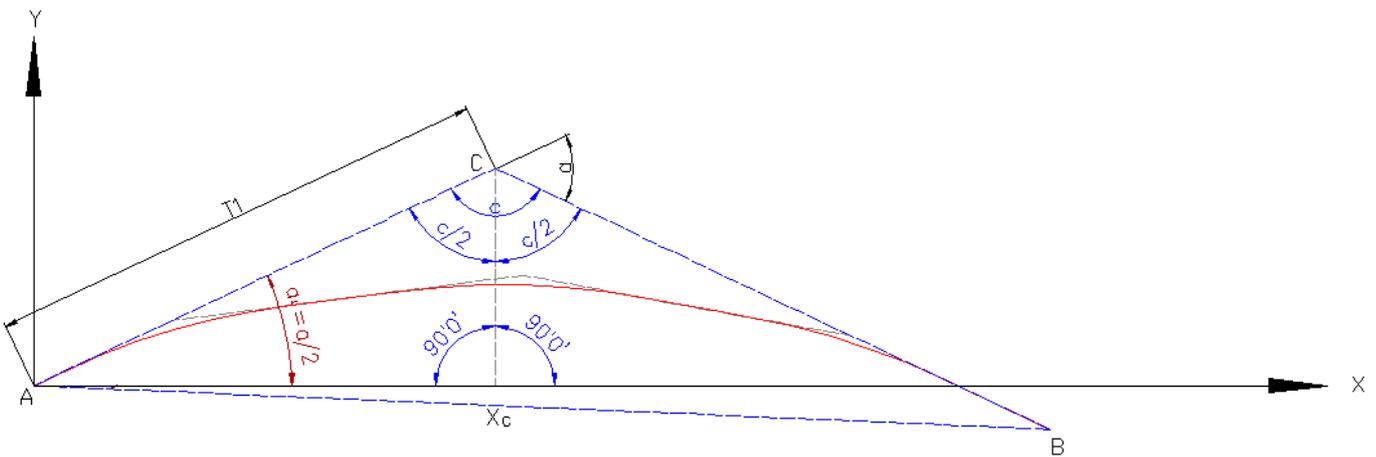


Рисунок – расчет значения биссектрисы угла.

Получаем значения величин a и b соответствующих первому и второму тангенсу угла:

$$T2 = a = \frac{c}{\sin(c)} \times \sin(a) \quad , \text{ для значения углов в радианах}$$

$$T1 = b = \frac{c}{\sin(c)} \times \sin(b) \quad , \text{ для значения углов в радианах}$$

$$T2 = a = \frac{c}{\sin\left(\frac{\pi \times c}{180^\circ}\right)} \times \sin\left(\frac{\pi \times a}{180^\circ}\right) \quad , \text{ для значения углов в градусах}$$

$$T1 = b = \frac{c}{\sin\left(\frac{\pi \times c}{180^\circ}\right)} \times \sin\left(\frac{\pi \times b}{180^\circ}\right) \quad , \text{ для значения углов в градусах}$$

Биссектриса угла рассчитывается по алгоритму расчета отметок трубы, описанному ниже, с начальными координатами т.А, равными 0,0 и начальным углом

$$\angle \alpha_1 = 180^\circ - 90^\circ - \angle c / 2 = 90^\circ - \frac{180^\circ - \angle \alpha}{2} = \frac{\angle \alpha}{2}$$

$$X_c = T_1 \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Расстояние от т.А до т.С принимается равным:

Расчет отметок трубы, попадающих на отвод холодной гибки из двух и более труб
Кривую, состоящую из нескольких отводов (нескольких труб) рассмотрим как участок трубы, состоящий из нескольких углов с вершинами 1, 2, 3...n.

Первым шагом вычисляются координаты т.А, рассчитанные по формулам:

$$X_A = X_{BV} - T_1 \times \cos\left(\frac{\pi \times \alpha_j}{180^\circ}\right)$$

$$Y_A = Y_{BV} - I \times X_A$$

Далее рассчитываются координаты каждой единичной вершины относительно предыдущей единичной вершины.

Параметры каждого единичного угла (тангенс кривой t, поправки координат Y1 и Y2) рассчитываются аналогично расчету, приведенному выше для отвода из одной трубы.

1.3 Совмещенные углы

В программе принято следующее понятие совмещенного угла: угол является совмещенным, если X-координаты вершин горизонтального и вертикального угла равны с точностью до 1м.

Расчет совмещенного угла выполняется по формуле:

$$\varphi = \text{ArcCos}[\cos(\alpha_1) \times \cos(\alpha_2) \cos(\beta) \pm \sin(\alpha_1) \times \sin(\alpha_2)],$$

где

φ - значение совмещенного угла,

β - значение горизонтального угла,

α_1, α_2 - значения вертикальных углов,

знак «-» ставится в случае, когда уклоны трубы в вертикальной плоскости одинаковы по знаку (то есть оба возрастают или оба убывают), знак «+» ставиться в противоположном случае.

При совмещении вертикального и горизонтального углов их тип должен совпадать, то есть они должны быть оба естественными или оба искусственными.

При совмещении вертикальных углов с горизонтальными углами с радиусом $R=0$ – угол не считается совмещенными, т.к. такие горизонтальные углы считаются створными, как правило, со значением менее одного градуса, и не оказывают влияния на вертикальный угол.

1.4 Отметки низа трубы

Расчет отметок трубы лежащих вне тангенсов углов выполняется по формуле:

$$Y_{\text{н.А}} = Y_2 - X \times i_1,$$

где X – расстояние от вершины угла до т.А по оси ОХ.



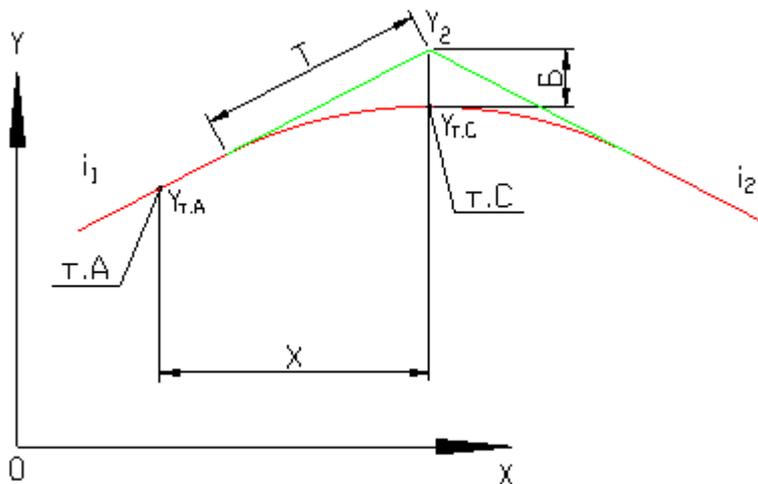
Следует обратить внимание, что все расчеты выполняются без округления. Например, точное значение уклона составляет 0,125846. Именно это значение используется в расчетах промежуточных отметок между вертикальными углами трубы, а не округленный результат, отображаемый при оформлении – 0,1259. При оформлении продольного профиля округления выполняются по правилам математики, например, 0,123 = 0,12, 0,125 = 0,13; 0,129 = 0,13.

Расчет отметок трубы, попадающих на тангенсы вертикального угла, выполняется, если биссектриса вертикального угла больше или равна 0,05 м (5 см).

Расчет отметки трубы на вершине угла выполняется по формуле:

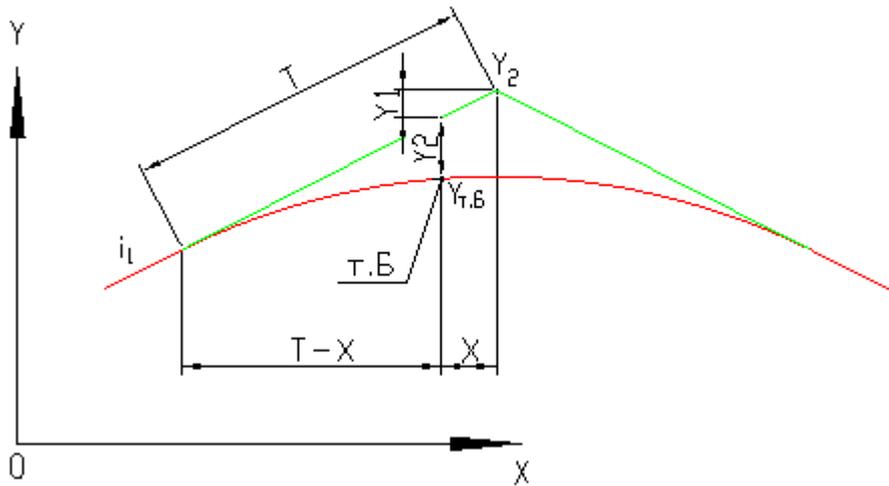
$$Y_{\text{н.С}} = Y_2 - B,$$

где Y_2 – отметка вершины угла.



Расчет отметок трубы, попадающих на тангенсы кривых естественного изгиба, выполняется по формуле:

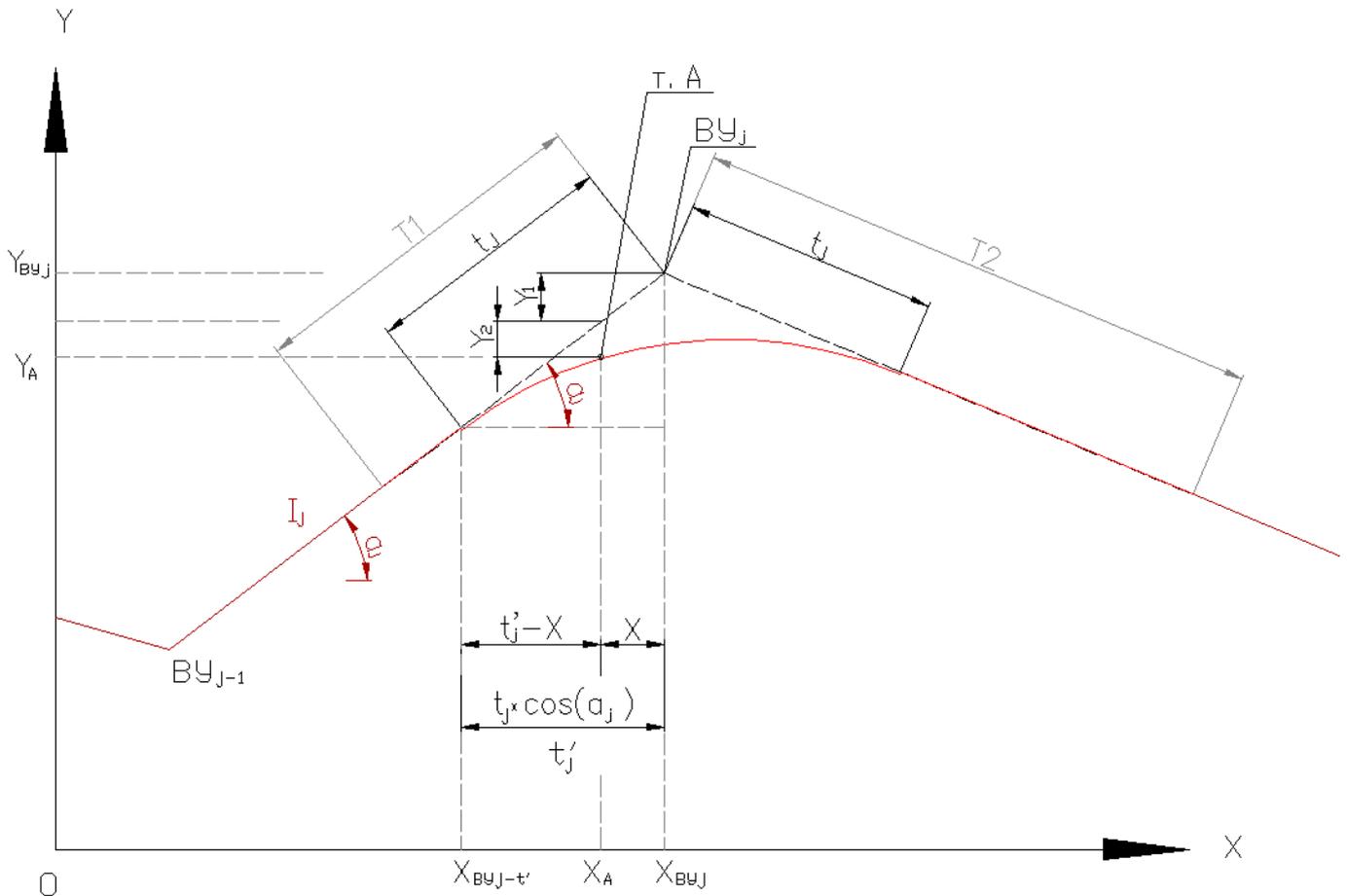
$$Y_{\text{н.Б}} = Y_2 - Y_1 - Y_2 = Y_2 - i_1 \times X - \frac{(T - X)^2}{2R}$$



Для совмещенных углов естественного изгиба расчет отметок трубы, и их попадание на тангенсы, производится по параметрам вертикального угла (без учета значения совмещенного угла).

Попадание точек на отвод холодной гибки из одной трубы

Попадание точек трубы на тангенсы угла, а также наложение тангенсов углов принимается с учетом поправки по координате X на $\cos(\alpha_j)$ и $\cos(\alpha_{j+1})$, см. рисунок ниже:



$$Y_A = Y_{BЧ} - Y_1 - Y_2 \quad (3)$$

$$Y_1 = I_j \times X, \text{ где } X = X_{BЧ} - X_A$$

$$Y_2 = \frac{(t'_j - X)^2}{2 \times R_j} = \frac{(t_j \times \cos(\alpha_j) - X)^2}{2 \times R_j}$$

, где α_j - в радианах.

При подстановке в формулу угла в градусах она примет вид:

$$Y_2 = \frac{(t'_j - X)^2}{2 \times R} = \frac{(t_j \times \cos(\frac{\pi \times \alpha_j}{180^\circ}) - X)^2}{2 \times R_j}$$

Формула (3) примет итоговый вид:

$$Y_A = Y_{BЧ} - I_j \times X \pm \frac{(t_j \times \cos(\frac{\pi \times \alpha_j}{180^\circ}) - X)^2}{2 \times R_j}$$

Знак +/- принимается в зависимости от вогнутого или выпуклого угла.

Для точки, попадающей на тангенс справа от вершины угла, расчет выполняется следующим образом:

Настройки

Настройки оформления | Настройки проектирования

Параметры углов | Уклоны земли | Точность значений | Надземная прокладка

Точности привязок участков

Ведомости раздела земляные работы : 0

Ведомости подготовки основания и обсыпки : 0

Ведомость защиты изоляции : 0

Точность значений

Отметок трубы, глубины траншеи : 0.00

Уклонов трубы : 0.0000

Объема срезки/полки/насыпи, мЗ : 1

Точность привязки точек трубы по координате X, м: 1.00

Точность длин

Длина трубы в ведомости раскладки : 0

удлинение на рельеф не учитывать

учитывать при значениях, м : 1

Рубленого пикета учитывать при отклонении длины на величину, м : 1.0

Масса трубы

При расчете тоннажа трубы учитывать увеличение теоретической массы на 1% для сварных труб, начиная с диаметра, мм: 114

Биссектриса угла

Оформлять вертикальные углы и учитывать в отметках трубы, глубинах траншеи биссектрису вертикального угла при значениях не менее, м: 0.05

По умолчанию все настройки

OK Отмена

Таким образом, если естественный угол имеет биссектрису менее, например, 0.05м, он не оформляется (не выписывается). При проектировании трубопровода (при отображении графики расчета, при проверке наложения тангенсов углов) учитываются все вертикальные углы, в том числе с меньшими биссектрисами.

Вертикальные углы, совмещенные с горизонтальными углами, оформляются (выписываются) вне зависимости от значений их параметров. При оформлении совмещенного угла приводятся данные:

- при совмещении естественных углов – R, T, K, Б вертикального угла;
- при совмещении искусственных углов – T1, T2 совмещенного угла, Б вертикального угла, R одинаков для горизонтального и вертикально углов, типоразмер выписывается для значения совмещенного угла.

Ниже приведены примеры оформления вертикальных углов:

Вертикальные углы

естественный

ПК2+79,3
ОТМ. 402,9
Уг. 1° 10'
R= 1880
T= 19,038
K= 38,075
B= 0,10

искусственный

ПК4+75,9
ОТМ. 403,4
Уг. 9° 00'
R= 35
T= 5,255
T ₀ = 6,455
B= 0,11
A 9°= 9°

Совмещенные углы

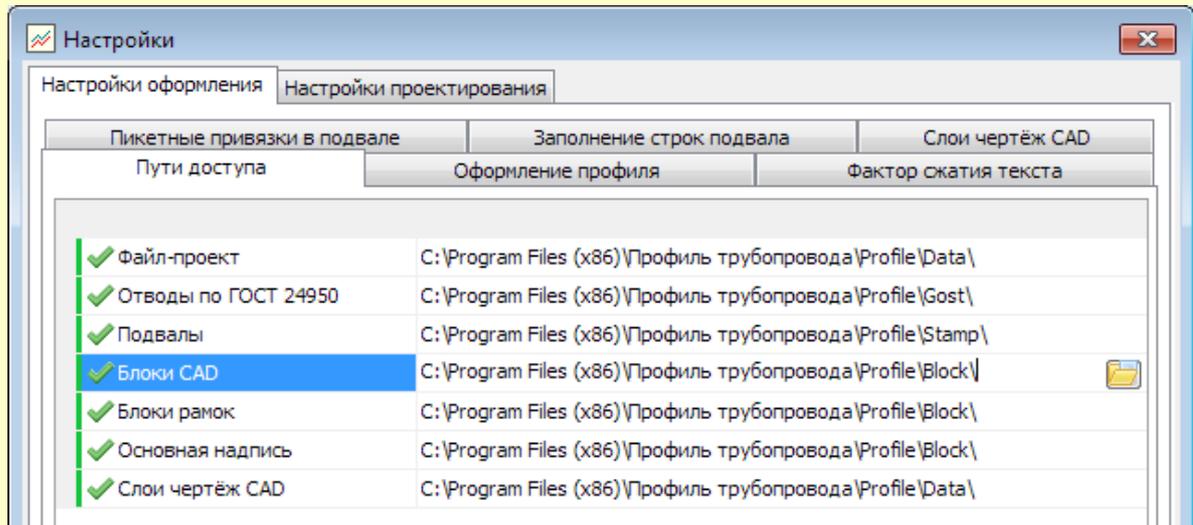
естественный

ПК3+98,8
ОТМ. 399,5
Уг.совм. 1° 00'
Уг.гориз. 0° 58'
Уг.верт. 0° 14'
R= 5510
T= 11,149
K= 22,297
B= 0,01

искусственный

ПК0+120
ОТМ. 420,8
Уг.совм. 4° 13'
Уг.гориз. 3° 58'
Уг.верт. 1° 27'
R= 35
T= 3,722
T ₀ = 7,922
B= 0,00
A 4°= 4°

Внешний вид углов может быть изменен пользователем. Углы являются объектами CAD типа блок с атрибутами и располагаются в каталоге указанном в настройках оформления:



Изменение имен файлов, содержащих блоки, точки вставки блока и наименование атрибутов не допускается.

Список ключевых слов

Вертикальные углы - методика.....	4
Методология проектирования.....	3
Отметки низа трубы и траншеи.....	11
Оформление вертикальных углов.....	16
Оформление плановой линии на профиле трассы.....	3
Плановые углы - методика.....	3
Попадание точек на отвод холодной гибки из одной трубы.....	11
Расчет отметок трубы на отводе холодной гибки из одной трубы.....	11
Расчет отметок трубы на совмещенных углах из отводов холодной гибки.....	11
Расчет отметок трубы, попадающих на отвод холодной гибки из двух и более труб.....	4
Расчет уклонов и углов.....	4
Совмещенные углы - методика.....	11
Углы горячего гнутья.....	3
Углы естественного изгиба.....	3, 4
Углы холодного гнутья.....	3
Углы холодной гибки из двух и более труб.....	4
Углы холодной гибки из одной трубы.....	4