**Контрольная работа №4**

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРАССЫ ТОНЕЛЯ И**

 **ПРЕДВЫЧИСЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Содержание работы**

1. Выполнить частично аналитическую подготовку для перенесения в натуру с плана отрезка тоннеля

а) вычислить основные элементы кривой;

б) вычислить координаты:

 вершины угла;

 начала и конца круговой кривой;

 начала переходных кривых

 концов переходных кривых на осях пути и тоннеля

2. По полученным координатам построить геометрическую схему криволинейного участка транспортного тоннеля в масштабе 1:1000 и схему (внемасштабно) с показом всех элементов трассы тоннеля.

3. Рассчитать точность геодезического обоснования, обеспечивающего требуемую сбойку встречных тоннелей.

**Исходные данные:**

1. Схема участка транспортного тоннеля (Рисунок 1).



Рисунок 1.

2. Исходные координаты точки А (ПК 0), дирекционный угол прямолинейного участка АВ и расстояния прямых участков АВ и ВС (таблица 1).

Таблица 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Координаты т. А, (ПК 0) | Дирекционный угол линии А-В | Расстояние  |
| Х, м | Y, м | АВ, м | ВС, м |
| 16 | 1932.174 | 2144.311 | 66º24΄11.6˝ | 2310.141 | 1464.132 |

3. Значение угла поворота трассы тоннеля, радиус круговой кривой (таблица 2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Угол поворота Θ, правый | Радиус круговой кривой R, м  | Параметры переходной кривой |
| С | L, м | h, м |
| Четный | 20°10’14.5” | 600 | 30000 | 50 | 0.115 |

4. Величина предельной ошибки сбойки встречных тоннелей для всех вариантов Δ=100 мм.

5. Расстояние между пунктами основной подземной полигонометрии – 100 м, между пунктами главной подземной полигонометрии - 200-300 м.

**1. Вычисление значений основных элементов круговой кривой**

Запроектированная трасса тоннеля в плане состоит из прямых участков, сопряженных круговыми кривыми. Для отыскания на местности и вычисления координат начала кривой НКК и конца ККК по углу поворота и радиусу круговой кривой вычисляют основные элементы круговой кривой – тангенс, кривую, домер и биссектрису.

**Тангенс** Т — расстояние от вершины угла ВУ до начала кривой НК или конца кривой КК.

**Кривая** К — длина кривой К, расстояние от начала кривой НК до конца кривой КК.

**Домер** Д — разница между суммой тангенсов и длиной кривой, показывает, насколько путь по касательной (Т) больше пути по кривой.

**Биссектриса** Б — расстояние от вершины угла ВУ до середины кривой СК

Элементы круговой кривой вычисляют по формулам:

Величина тангенса $ Т=R∙tg\frac{φ}{2}$

Величина кривой $К=\frac{π∙R∙φ}{180}$

Величина биссектрисы $Б=R∙\left(\frac{1}{cos\frac{φ}{2}}-1\right)$

Величина домера Д=2Т-К

Тангенс кривой: $Т\_{1}=R\_{1}∙tg\frac{φ\_{1}}{2 } $= 600 ∙ tg (20o10'14.5”) = 106,72 м

Длина кривой: $К\_{1}=\frac{π∙R\_{1}∙φ\_{1}}{180}=\frac{3.14∙600∙20°10'14.5”}{180°}$= 211,23 м

Домер: Д1 = 2Т1-К1 = 2∙106.72-211,23 = 2,21 м.

Биссектриса: Б1 = $R\_{1}∙\left(\frac{1}{cos\frac{φ\_{1}}{2}}-1\right)$=$ 600∙\left(\frac{1}{cos\frac{20°10'14.5”}{2}}-1\right)=9.42$ м

Результаты расчетов элементов круговых кривых разместим в таблице 3.

Таблица 2.

Расчеты элементов круговых кривых

|  |  |
| --- | --- |
| Номера вершин | Элементы кривых |
| φ (град) | R(м) | К (м) | Т (м) | Д (м) | Б (м) |
| ВУ | 20º10'14.5'' | 600 | 211.23 | 106.72 | 2.21 | 9.42 |

**2. Вычисление Пикетажных значений основных точек трассы тоннеля**

Выполним расчет пикетажных значений основных точек трассы тоннеля вершины угла ВУ, начала кривой НКК конца круговой кривой ККК и точки конца тоннеля С. Вычисления выполним в таблице 3.

Таблица 3.

Вычисление пикетажных значений главных точек круговых кривых

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Действия | Элемент формул | Номера вершин углов поворота трассы |
| ВУ-1 |
| 1 | У | 20º10'14.5'' |
| 2 | R | 600 |
| 3 | Т | 106.72 |
| 4 | К | 211.23 |
| 5 | Б | 9.42 |
| 6 | Д | 2.21 |
| 7 | ПК Т. А | ПК0+0 |
| 8 | +АB | 23+10.14 |
| 9 | ПК ВУ | ПК23+10.14 |
| 10 | -Т | 1+6.72 |
| 11 | ПК НКК | ПК22+3.42 |
| 12 | +К | 2+11.23 |
| 13 | ПК ККК | ПК24+14.65 |
| 14 | +ВС | 14+64.13 |
| 15 | -Т | 1+6.72 |
| 16 | ПК Т.С. | ПК37+72.06 |
| Контроль |
| 17 | ПК Т.А | ПК0+0 |
| 18 | +АВ | 23+10.14 |
| 19 | ПК ВУ | ПК23+10.14 |
| 20 | +Т | 1+6.72 |
| 21 | +Д | 0+2.21 |
| 22 | ПК ККК | ПК24+14.65 |
|  |  |   |
| 23 | АВ | 23+10.14 |
| 24 | +ВС | 14+64.13 |
| 25 | -Д | 0+2.21 |
| 26 | ПК Т.С. | ПК37+72.06 |

**3. Вычисление координаты пикетоВ, расположенных на прямых участках разбивочной оси**

На первом этапе следует вычислить проектные координаты точек, расположенных на прямых участках разбивочной оси, взяв за основу координаты точки А. Расчету подлежат координаты точек вершины угла ВУ, начала кривой НКК и конца кривой ККК и точки С завершения туннеля.

Исходными данными также служат координаты точки А и дирекционный угол направления А – B. Расчёты, связанные с вычислением координат характерных точек сооружения размещают в ведомости вычисления координат теодолитного хода (Таблица 4).

Поскольку в расчётах используются проектные данные (горизонтальные углы и горизонтальные проложения), то вычисленная сумма приращений координат замкнутого хода должна быть равна нулю в пределах ошибок округления, что является контролем вычислений.

Таблица 4

Вычисление координат элементов трассы тоннеля

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пункт | Углы поворотаизмеренные | Дирекционные углы | Длины сторон | вычисленные | Х | Y |
| ΔХ | ΔY |
| ° ´ ´´ | ° ´ ´´ |
| A |  |  |  |  |  | **1932.174** | **2144.311** |
|  |  | 66º24΄12˝ | 2203.421 | 882.024 | 2019.182 |  |  |
| НКК | 180º.00΄00˝ |  |  |  |  | **2814.198** | **4163.493** |
|  |  | 66º24΄12˝ | 106.720 | 42.720 | 97.797 |  |  |
| Т.В. | 200º.10΄15˝ |  |  |  |  | **2856.918** | **4261.290** |
|  |  | 86º34΄26˝ | 106.720 | 6.378 | 106.529 |  |  |
| ККК | 180º.00΄00˝ |  |  |  |  | **2863.295** | **4367.819** |
|  |  | 86º34΄26˝ | 1357.412 | 81.120 | 1354.986 |  |  |
| Т.С |  |  |  |  |  | **2944.415** | **5722.805** |
|  |  |  |  | 1012,24 | 3578,49 |  |  |

Контроль: $tgα=\frac{\left[ΔY\right]}{\left[ΔХ\right]}=\frac{3578,49}{1012,24}=3,535219 $ α=74º12'19,8'' AC = $\frac{\left[ΔY\right]}{sinα}=\frac{\left[ΔХ\right]}{cosα}$=3718,905 м

γ1=74º12'19,8'' - 66º24΄12˝ = 7º48'08,2''

γ2=86º34΄26˝ - 74º12'19,8''= 12º22'06,4''

АС=АВ cos γ1 +BC cos γ2=3718.905 м.

**4. Вычисление Пикетных знчений**

 **начала и конца переходных кривых**

Вычисляются значения t1 и t2

$$t\_{1}=\frac{L}{2}+\frac{L^{5}}{60∙C^{2}}=\frac{50}{2}+\frac{50^{5}}{60∙30000^{2}}=25.006 м$$

$$t\_{1}=\frac{L}{2}-\frac{L^{5}}{24∙C^{2}}=\frac{50}{2}-\frac{50^{5}}{24∙30000^{2}}=24.986 м$$

Вычисление пикетных значений начал и концов переходных кривых

Первая переходная кривая

ПКНПК1=ПКНКК - $t\_{1}$ ПККПК1=ПКНПК1 + $L$

Вторая переходная кривая

ПКНПК2=ПКККК + $t\_{1}$ ПККПК2=ПКНПК2 – $L$

Таблица 5.

Пикетные значения начал и концов переходных кривых

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ПК НКК | ПК22+3.421 |  | ПК ККК | ПК24+14.651 |
|  | 0+25.006 |  |  | 0+25.006 |
| ПК НПК1 | ПК21+78.415 |  | ПК НПК2 | ПК24+39.657 |
|  | 0+50 |  |  | 0+50 |
| ПК КПК1 | ПК22+28.415 |  | ПК КПК2 | ПК23+89.657 |

Вычисление координат НПК1 и НПК2 выполним в таблице 6

Таблица 6

Вычисление координат элементов трассы тоннеля

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пункт | Углы поворотаизмеренные | Дирекционные углы | Длины сторон | вычисленные | Х | Y |
| ΔХ | ΔY |
| ° ´ ´´ | ° ´ ´´ |
| A |  |  |  |  |  | **1932.174** | **2144.311** |
|  |  | 66º24΄12˝ | 2178.415 | 872.014 | 1996.268 |  |  |
| НПК1 | 180º00΄00˝ |  |  |  |  | **2804.188** | **4140.579** |
|  |  | 66º24΄12˝ | 25.006 | 10.010 | 22.915 |  |  |
| НКК |  |  |  |  |  | **2814.198** | **4163.493** |

Продолжение таблицы 6

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пункт | Углы поворотаизмеренные | Дирекционные углы | Длины сторон | вычисленные | Х | Y |
| ΔХ | ΔY |
| ° ´ ´´ | ° ´ ´´ |
| С |  |  |  |  |  | **2944.415** | **5722.805** |
|  |  | 266º34΄26˝ | 1332.406 | -79.625 | -1330.025 |  |  |
| НПК2 | 180º00΄00˝ |  |  |  |  | **2864.790** | **4392.780** |
|  |  | 266º34΄26˝ | 25.006 | -1.494 | -24.961 |  |  |
| НКК |  |  |  |  |  | **2863.295** | **4367.819** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Вычисление координат концов переходных кривых на оси пути и оси тоннеля через угол поворота φ переходной кривой с радиусами Rп=R-p оси пути и Rт= R+q оси тоннеля.

$$φ=\frac{L}{2∙R}∙ρ"=\frac{50}{2∙600}∙206265"=2°23'14,4''$$

Смещение оси пути относительно разбивочной оси в конце переходной кривой

$$Р=\frac{L^{2}}{24∙R}=\frac{50^{2}}{24∙600}=0.174 м$$

Радиус оси пути Rп=R-p

Rп=R-p=600-0.174=599.826 м.

Смещение оси тоннеля относительно оси пути

$$q=h∙\frac{d}{a}=0,115∙\frac{1.850}{1.524}=0.140 м$$

Радиус оси тоннеля

Rт=R-p-q=600 – 0.174-0.140=599.687 м.

Таблица 7.

Вычисление координат КПК1 переходной кривой

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пункт | Углы поворотаизмеренные | Дирекционные углы | Длины сторон | вычисленные | Х | Y |
| ΔХ | ΔY |
| ° ´ ´´ | ° ´ ´´ |
| НПК1 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 66º24΄12˝ |  |  |  |  |  |
| НКК | 270º00΄00˝ |  |  |  |  | **2 814.198** | **4 163.493** |
|  |  | 156º24΄12˝ | 600.000 | -549.831 | 240.178 |  |  |
| ЦК | 2º23'14,4'' |  |  |  |  | **2 264.367** | **4 403.672** |
|  |  | 338º47΄26˝ | 599.826 | 559.197 | -217.004 |  |  |
| КПК1п |  |  |  |  |  | **2 823.563** | **4 186.668** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ЦК |  |  |  |  |  | **2 264.367** | **4 403.672** |
|  |  | 338º47΄26˝ | 599.686 | 559.066 | -216.953 |  |  |
| КПК1т |  |  |  |  |  | **2 823.433** | **4 186.719** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Контроль вычисления координат КПК1 через абсциссу и ординату х\* и y\* |
| ТА |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 66º24΄12˝ |  |  |  |  |  |
| НПК1 | 180º00'00,0'' |  |  |  |  | **2 804.188** | **4 140.579** |
|  |  | 66º24΄12˝ | 49.994 | 20.013 | 45.814 |  |  |
| Т. E | 270º00'00,0'' |  |  |  |  | **2 824.201** | **4 186.393** |
|  |  | 156º24΄12˝ | 0.694 | -0.636 | 0.278 |  |  |
| КПК1п | 2º23'14,4'' |  |  |  |  | **2 823.564** | **4 186.670** |
|  |  | 158º47΄26˝ | 0.140 | -0.130 | 0.051 |  |  |
| КПК1т |  |  |  |  |  | **2 823.434** | **4 186.721** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Таблица 8.

Вычисление координат КПК2 переходной кривой

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № пункт | Углы поворотаизмеренные | Дирекционные углы | Длины сторон | вычисленные | Х | Y |
| ΔХ | ΔY |
| ° ´ ´´ | ° ´ ´´ |
| НПК2 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 266º34΄26˝ |  |  |  |  |  |
| ККК | 90º00΄00˝ |  |  |  |  | **2 863.295** | **4 367.819** |
|  |  | 176º34΄26˝ | 600.000 | -598.928 | 35.856 |  |  |
| ЦК | 2º23'14,4'' |  |  |  |  | **2 264.368** | **4 403.676** |
|  |  | 354º11΄12˝ | 599.826 | 596.742 | -60.756 |  |  |
| КПК2п |  |  |  |  |  | **2 861.109** | **4 342.920** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ЦК |  |  |  |  |  | **2 264.368** | **4 403.676** |
|  |  | 354º11΄12˝ | 599.686 | 596.602 | -60.741 |  |  |
| КПК2т |  |  |  |  |  | **2 860.970** | **4 342.934** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Контроль вычисления координат КПК1 через абсциссу и ординату х\* и y\* |
| ТС |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 266º34΄26˝ |  |  |  |  |  |
| НПК2 | 180º00'00,0'' |  |  |  |  | **2 864.790** | **4 392.780** |
|  |  | 266º34΄26˝ | 49.994 | -2.988 | -49.905 |  |  |
| Т. F | 90º00'00,0'' |  |  |  |  | **2 861.802** | **4 342.876** |
|  |  | 176º34΄26˝ | 0.694 | -0.693 | 0.041 |  |  |
| КПК2п | 2º23'14,4'' |  |  |  |  | **2 861.109** | **4 342.917** |
|  |  | 178º57΄41˝ | 0.140 | -0.140 | 0.003 |  |  |
| КПК2т |  |  |  |  |  | **2 860.969** | **4 342.920** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**5. Расчет точности геодезического обоснования, обеспечивающего требуемую сбойку**

**встречных тоннелей.**

Данный расчет выполняется при составлении ППГР и необходим для предрасчета точности отдельных видов геодезических работ.

1. Определение длины односторонней проходки от портала (ПК0) до места сбойки и от шахты 514 до сбойки

L=ПК (НКК)+88.20=ПК22+3.42+88.20=2291.62 м.

Длина односторонней проходки d=L/2=1145.81 м.

2. На сбойку в осях встречных тоннелей окажут влияние следующие основные факторы:

m1 – средняя квадратическая ошибка геодезического обоснования на поверхности;

m2 – средняя квадратическая ошибка ориентирования через шахту 514;

m3 – средняя квадратическая ошибка ориентирования в начале сбойки не учитывается, так как ориентирование осуществляется через портал;

m4 и m5 – средние квадратические ошибки ходов подземной полигонометрии;

При длине односторонней проходки d>1 км. принимают:

m1= 0.7 m, m2= 2.5 m, m4= m5= 1.0 m=μ·С

Тогда средняя квадратическая ошибка сбойки в осях встречных тоннелей получится:

m=$\sqrt{\left(0.7∙μ∙C\right)^{2}+\left(2.5∙μ∙C\right)^{2}+2∙\left(μ∙C\right)^{2}}=\sqrt{8.74∙μ^{2}∙C}$

Полагая, $m= \frac{δ}{2}$ = 50 мм, $μ∙С=16.9 $мм.

3. Взаимное положение пунктов геодезического обоснования на поверхности, с которых производиться ориентирование и передача координат должно быть определено со средней квадратической ошибкой

m1=0.7·$μ∙С=$ 0.7 ·16.9 =11.8 мм.

4. Средняя квадратическая ошибка ориентирования через шахту 514

$$m=\frac{m\_{2}∙ρ}{d}=\frac{16.9∙2.5∙206265"}{1145810}=7.6"$$

При строительстве тоннелей ориентирование выполняют не менее трех раз и берут средний результат, тогда допустимая ошибка однократного ориентирования может быть принята

mо=7.6·$\sqrt{3}$=13.1”

Такую точность может обеспечить способ соединительного треугольника.

5. Средняя квадратическая погрешность угловых измерений в подземной полигонометрии:

Принимая длину средней стороны основной полигонометрии S=100 м., получим число сторон полигонометрии n=d/100= 1145/100=11

По формуле поперечного сдвига неуравненного полигонометрического хода получим

mβ=$\frac{m"∙ρ"}{d∙\sqrt{\frac{n+1.5}{3}}}=\frac{16.9"∙206265"}{1145810∙\sqrt{\frac{11+1.5}{3}}}=1.5"$

Так как в основной полигонометрии такую точность измерений нельзя обеспечить, то проектируют главную полигонометрии со средней стороной S=300 м. В этом случае n=d/300= 1145/300=4

mβ=$\frac{m"∙ρ"}{d∙\sqrt{\frac{n+1.5}{3}}}=\frac{16.9"∙206265"}{1145810∙\sqrt{\frac{4+1.5}{3}}}=2.2"$

В этом случае обеспечивается необходимая точность сбойки.

Аналогично выполним расчет точности сбойки тоннеля от шахты 514 до шахты 515

1. Определение длины односторонней проходки от шахты 514 до шахты 515

L=(ПК(С)+41 м)-(ПК (НКК)+88.20)=(ПК37+72.06+41.00)-(ПК22+03.42+88.20)=2115.22

Длина односторонней проходки d=L/2=2115.22/2=1057.61 м.

2. На сбойку в осях встречных тоннелей окажут влияние следующие основные факторы:

m1 – средняя квадратическая ошибка геодезического обоснования на поверхности;

 m2 – средняя квадратическая ошибка ориентирования через шахту 514;

m3 – средняя квадратическая ошибка ориентирования через шахту 515;

m4 и m5 – средние квадратические ошибки ходов подземной полигонометрии;

При длине односторонней проходки d>1 км. принимают:

m1= 0.7 m, m2= m3=2.5 m, m4= m5= 1.0 m=μ·С

Тогда средняя квадратическая ошибка сбойки в осях встречных тоннелей получится:

m=$\sqrt{\left(0.7∙μ∙C\right)^{2}+2∙\left(2.5∙μ∙C\right)^{2}+2∙\left(μ∙C\right)^{2}}=\sqrt{14.99∙μ^{2}∙C}$

Полагая, $m= \frac{δ}{2}$ = 50 мм, $μ∙С=12.9 $мм.

3. Взаимное положение пунктов геодезического обоснования на поверхности, с которых производиться ориентирование и передача координат должно быть определено со средней квадратической ошибкой

m1=0.7·$μ∙С=$ 0.7 ·12.9 =9.0 мм.

4. Средняя квадратическая ошибка ориентирования через шахту 514

$$m=\frac{m\_{2}∙ρ}{d}=\frac{12.9∙2.5∙206265"}{1057610}=6.3"$$

При строительстве тоннелей ориентирование выполняют не менее трех раз и берут средний результат, тогда допустимая ошибка однократного ориентирования может быть принята

mо=6.6·$\sqrt{3}$=11.4”

Такую точность может обеспечить способ соединительного треугольника.

5. Средняя квадратическая погрешность угловых измерений в подземной полигонометрии:

Принимая длину средней стороны основной полигонометрии S=100 м., получим число сторон полигонометрии n=d/100= 1057/100=11

По формуле поперечного сдвига неуравненного полигонометрического хода получим

mβ=$\frac{m"∙ρ"}{d∙\sqrt{\frac{n+1.5}{3}}}=\frac{12.9"∙206265"}{1057610∙\sqrt{\frac{11+1.5}{3}}}=1.2"$

Так как в основной полигонометрии такую точность измерений нельзя обеспечить, то проектируют главную полигонометрии со средней стороной S=320 м. В этом случае n=d/320= 1057/320=3

mβ=$\frac{m"∙ρ"}{d∙\sqrt{\frac{n+1.5}{3}}}=\frac{12.9"∙206265"}{1057610∙\sqrt{\frac{3+1.5}{3}}}=2.1"$

В этом случае обеспечивается необходимая точность сбойки.