

Московский  
государственный  
университет геодезии и  
картографии  
Курсовой проект

проект на

тема:  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ  
МЕТРОПОЛИТЕНА И  
АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ  
ТОЧНОСТИ ДЛЯ ВЫНОСА В  
НАТУРУ**

Выполнил:  
студент ГФ ПГ  
V-2с Коряжкин В.  
Ю.

Москва 2021

# Введение

МЕТРОПОЛИТЕН, или МЕТРО, скоростной местный пассажирский железнодорожный транспорт, линии которого полностью или частично проложены в туннелях. Метрополитен обычно является основной системой общественного городского транспорта. Это транспорт местного значения, его поезда ходят чаще, расстояния между станциями меньше, чем на пригородных железных дорогах, и у него нет центрального вокзала.

Все возрастающий поток всех видов транспорта и пешеходов тормозится существующей системой улиц, пропускная способность которых быстро исчерпывается. В связи с большими заторами, в особенности на перекрестках, наземный городской транспорт перестает удовлетворять потребность населения в перевозках.

В данном курсовом проекте будет рассмотрено проектирование линий метрополитена и аналитический расчет точности для выноса его в натуру.

# Цели и задачи

## Цели проекта:

Запроектировать линии метрополитена и выполнить аналитический расчет точности для выноса в натуру.

## Задачи проекта:

- 1) ) Собрать данные об объекте работ
- 2) ) Выполнить анализ топографо-геодезической обеспеченности участка работ и
- 3) ) Выполнить проектирование планово-высотной геодезической основы
- 4) ) Выполнить расчет допусков на геодезические работы
- 5) ) Выполнить аналитический расчет положения трассы

# Нормативно-техническая документация

Для сбора технической информации необходимо воспользоваться следующими нормативными документами:

- ВСН 160-69 «Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей»
- СП120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция

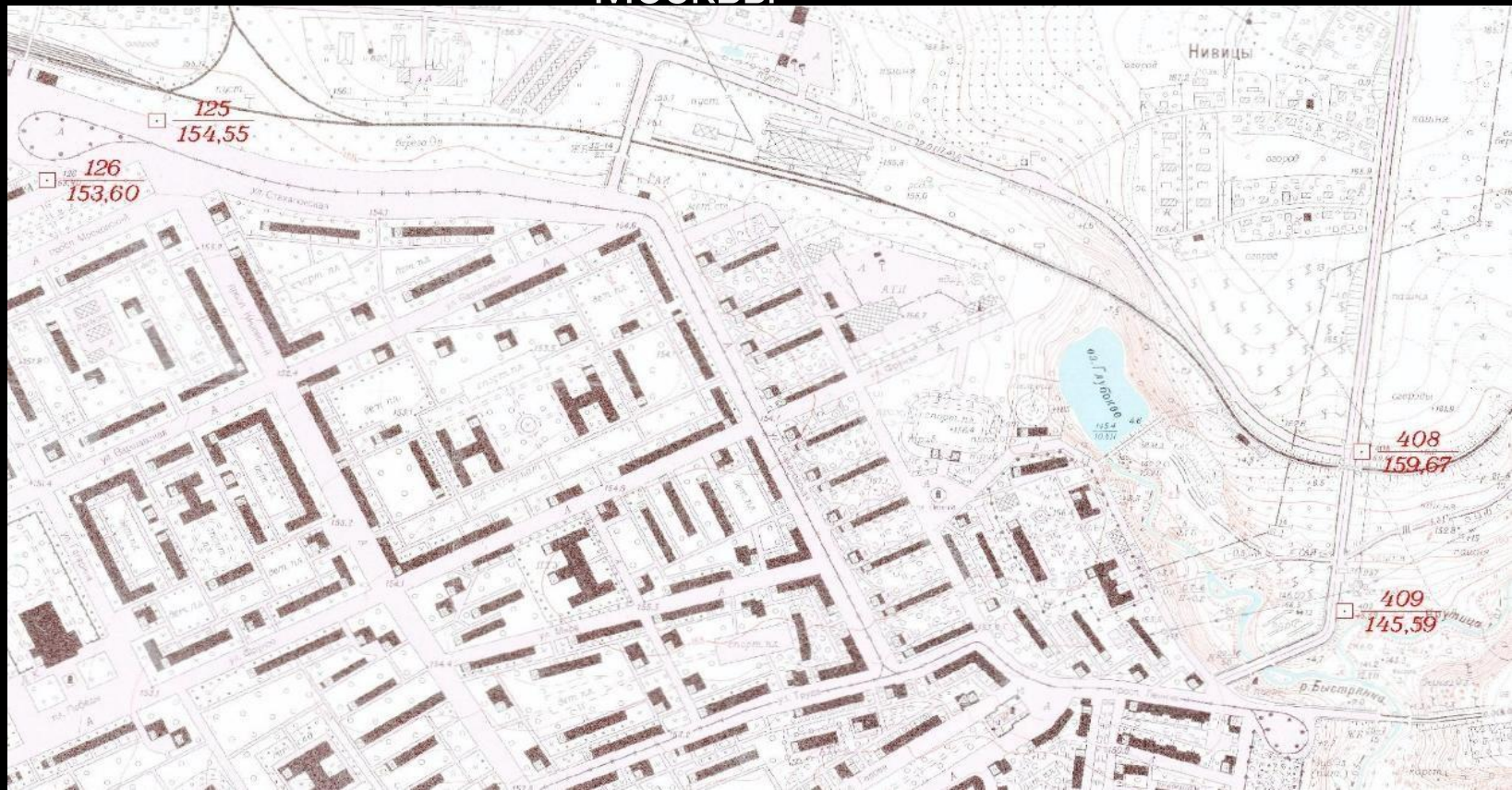
# Топографо-геодезическая изученность района работ

В процессе инженерных изысканий получен инженерно-топографический план масштаба 1:5 000, система координат – Местная, система высот – Балтийская



# Топографо-геодезическая изученность района работ

В качестве исходных использованы пункты,  
координаты которых получены при помощи спутникового  
геодезического оборудования Leica GS15 методом «Статика».  
Геодезической основой являются базовые станции СНГО  
Москвы

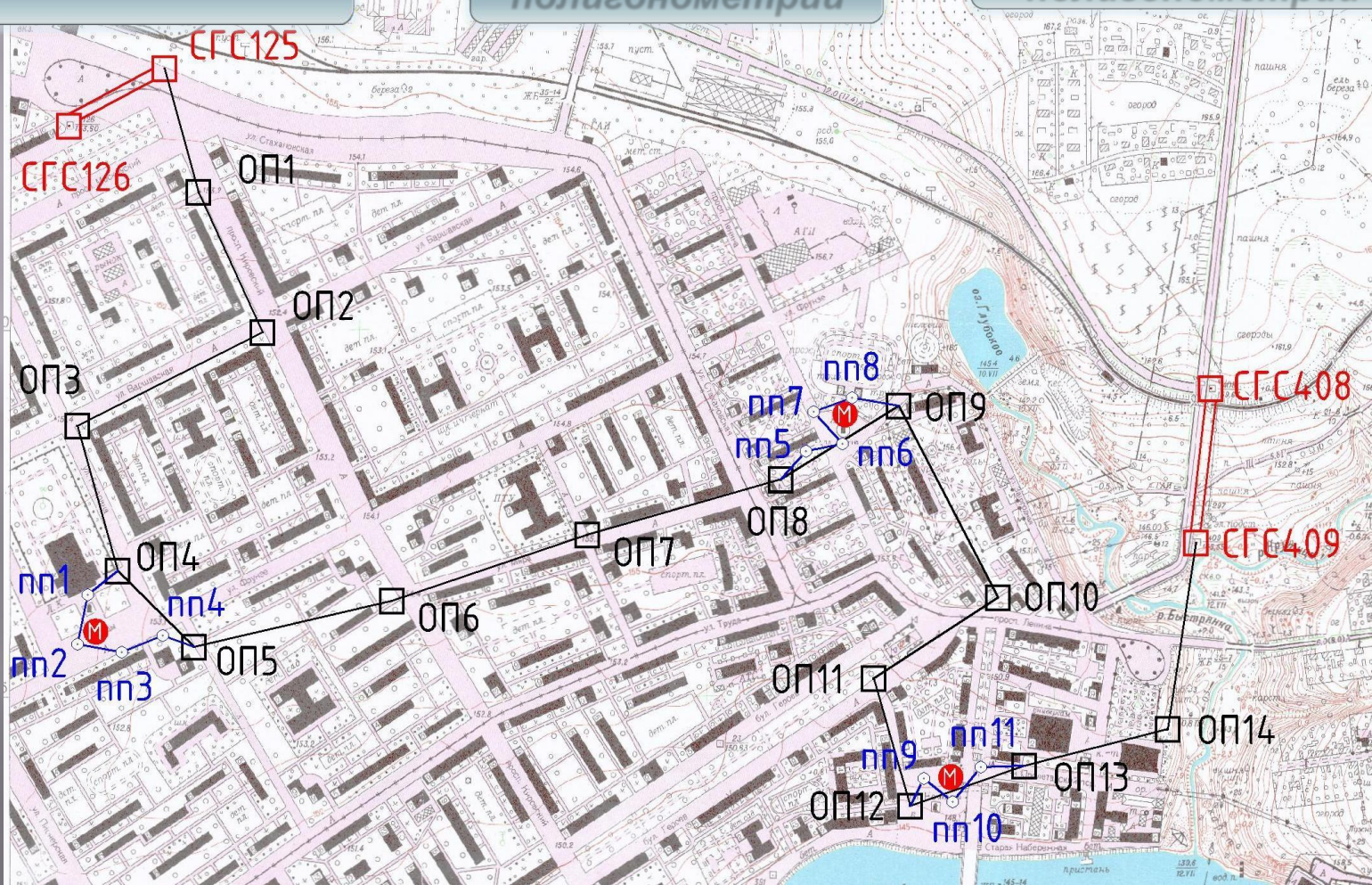


# Геодезическое обоснование трассы тоннеля 3 этапа создания геодезической сети:

Создание опорной  
спутниковой сети

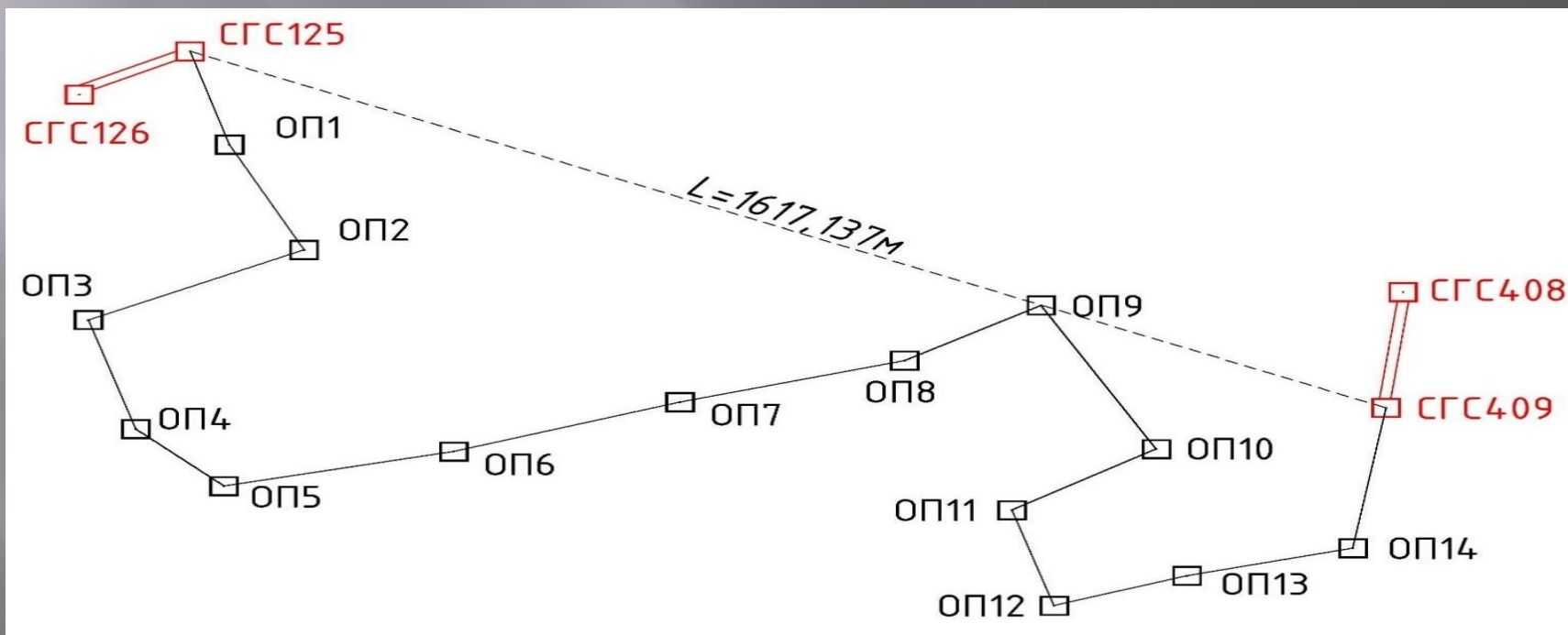
Проектирование  
основной  
полигонометрии

Проектирование  
подходной  
полигонометрии



# Геодетическое обоснование трассы тоннеля

Основная полигонометрия прокладывается в виде сети замкнутых полигонов или одиночных ходов между пунктами триангуляции; при этом длины полигонометрических ходов должны быть в пределах 3 - 4 км.





# Проектирование геодезической разбивочной основы на поверхности и аналитический расчет точности измерений в основной полигонометрии

## Установление формы хода:

Так как для запроектированного хода основной полигонометрии СГС125 –СГС409 не выполняется ни один из критериев вытянутости, ход является изогнутым.

Ожидаемая средняя квадратическая ошибка в положении конечной точки полигонометрического хода с примерно равными сторонами, опирающегося на два исходных пункта и для которого предварительно осуществлено измерение углов для изогнутых ходов

$$M^2 = \left[ m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{2} \sum D_{oi}^2 \right]$$

Определив все необходимые составляющие вычислим СКП положения конечной точки полигонометрического хода

$$M = \sqrt{27 + \frac{2^2}{206265^2} \times 6270752} = 5,2 \text{ мм}$$

# Проектирование геодезической разбивочной основы на поверхности и аналитический расчет точности измерений в основной полигонометрии

Предельная относительная невязка хода:

$$\frac{2M}{[S]} \leq \frac{\text{пред. } f_S}{[S]} = \frac{1}{T}.$$

В соответствии с ВСН 160-69:

160-69:

$$\frac{\text{пред. } f_S}{[S]} = \frac{1}{T} = \frac{1}{35000}.$$

При приближенной оценке точности:

$$\frac{1}{330000} \leq \frac{1}{35000}.$$

При строгой оценке точности:

$$\frac{1}{1000000} \leq \frac{1}{35000}.$$

**Вывод:** сравнивая полученную относительную погрешность с допустимым значением можно сделать вывод о том, что запроектированная сеть удовлетворяет требованиям построения основной полигонометрии.

# Проектирование геодезической разбивочной основы на поверхности и аналитический расчет точности измерений в основной полигонометрии

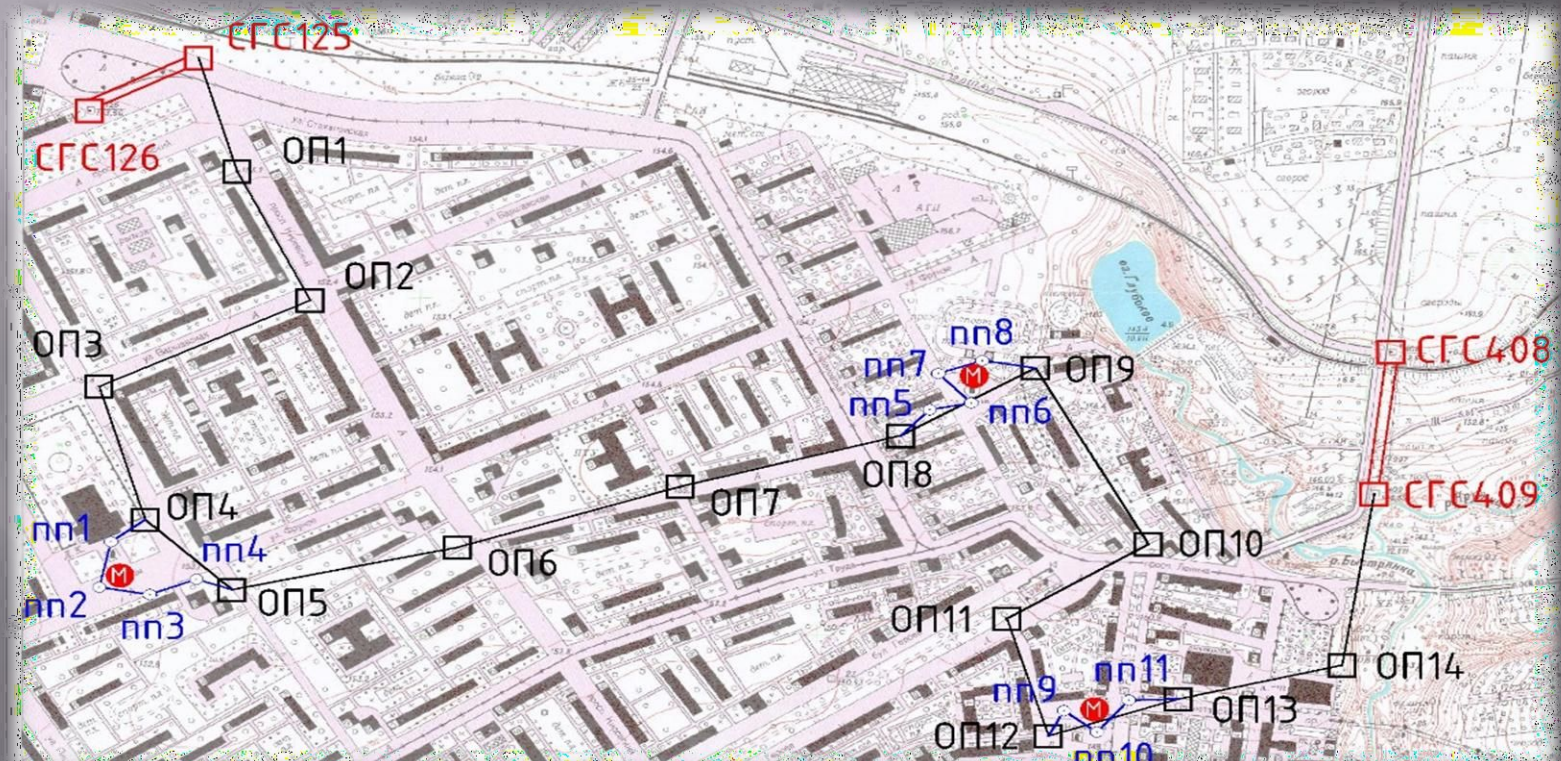
Измерения рекомендуется производить электронным тахеометром LEICA TS16 P R1000 (2").



# Проектирование походной полигонометрии и аналитический расчет точности измерений

Длины отдельных ходов/полигонов в походной полигонометрии не должны превышать 300м и не менее 30 м; походная полигонометрия должна иметь минимальное число углов поворота

Запроектировано 3 хода походной полигонометрии. ОП4-ОП5 – ход 1, ОП8-ОП9 – ход 2, ОП12-ОП13 – ход 3.



# Проектирование подходной полигонометрии и аналитический расчет точности измерений

## При приближенной оценке точности:

- Для хода 1:

$$\frac{1}{45\,000} \leq \frac{1}{30\,000}$$

- Для хода 2:

$$\frac{1}{44\,500} \leq \frac{1}{30\,000}$$

- Для хода 3:

$$\frac{1}{38\,000} \leq \frac{1}{30\,000}$$

## При строгой оценке точности:

- Для хода 1:

$$\frac{1}{164\,000} \leq \frac{1}{30\,000}$$

- Для хода 2:

$$\frac{1}{109\,000} \leq \frac{1}{30\,000}$$

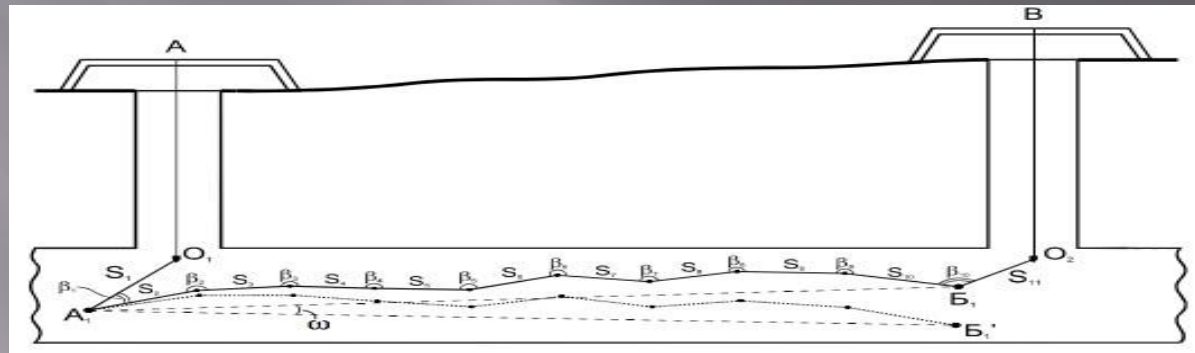
- Для хода 3:

$$\frac{1}{146\,000} \leq \frac{1}{30\,000}$$

**Вывод:** сравнивая полученную относительную погрешность с допустимым значением можно сделать вывод о том, что спроектированные хода удовлетворяют требованиям построения подходной полигонометрии.

# Ориентирование плановой основы для передачи координат и дирекционного угла в шахту

В курсовом проекте рассмотрен способ ориентирования методом двух шахт.



Ошибка ориентирования методом двух шахт составляет

$$m_{\text{ориент.}}'' = 8''$$

Ошибка передачи координат будет вычисляться с использованием формулы:

$$m_{\text{ориент}}'' = \frac{m_{\text{ориент.}} \times \rho''}{l_{\text{мм}}}$$

# Ориентирование плановой основы для передачи координат и дирекционного угла в шахту

- В курсовом проекте рассмотрен ориентирования методом двух шахт.
- Для перегона «Площадь Победы» – «Площадь Ленина»:

$$m_{\text{ориент}}'' = \frac{20\text{мм} \times 206265''}{261000\text{мм}} = 15,8''$$

- Исходя из расчетов выполненных в главе 4.1, ошибка ориентирования не должна превышать «Площадь»  $m_2 = m_3 = m_{\text{ориент}} = 20 \text{ мм.}$
- Следовательно, способ ориентирования методом двух шахт подходит для производства работ.

# Проектирование высотной основы для передачи отметок на дно шахты и наблюдением за деформациями

На точность сбойки по высоте между двумя смежными стволами А и В влияют следующие ошибки:

- 1) ошибка нивелирного хода на поверхности, связывающего два репера, расположенных вблизи смежных стволов  $m_{h1}$ ;
- 2) ошибка передачи отметки в шахту через ствол А  $m_{h2}$ ;
- 3) ошибка передачи отметки в шахту через ствол В  $m_{h3}$ ;
- 4) ошибка прокладываемого нивелирного хода под землей от ствола А до места сбойки  $m_{h4}$ ;
- 5) ошибка прокладываемого нивелирного хода под землей от ствола В до места сбойки  $m_{h5}$ ;

Общее влияние ошибок:

$$m_h = \sqrt{m_{h1}^2 + m_{h2}^2 + m_{h3}^2 + m_{h4}^2 + m_{h5}^2}$$

Таким образом, на каждую составляющую общей ошибки сбойки по высоте между двумя смежными стволами А и В приходится 10,1 мм.



# Проектирование высотной основы для передачи отметок на дно шахты и наблюдением за деформациями

Точность нивелирной сети характеризуется СКП определения превышения на 1 км хода, вычисляемая по формуле:

$$m_{i,2,3}^2 = \eta_i^2 * L^2 + \sigma^2 * L,$$

где  $\eta$  – средняя квадратическая случайная ошибка нивелирования на 1 км хода;  $\sigma$  – средняя квадратическая систематическая ошибка на 1 км хода;  
 $L$  – длина хода в км.

Для оценки точности сетей III и IV классов при  $L=1$  км формула приобретает следующий вид:

$$m_h = \eta \sqrt{L}$$

Определим, сможет ли III класс нивелирования обеспечить заявленную точность для создания высотного обоснования.

Получим следующие результаты:

$$m_{h1} = 6,7 \text{ мм}$$

$$m_{h2} = 4,1 \text{ мм},$$

$$m_{h3} = 5,3 \text{ мм}$$

# Проектирование высотной основы для передачи отметок на дно шахты и наблюдением за деформациями

Принимая погрешности исходных данных равными нулю  $m_{исх.} = 0$ , найдем погрешность узловой точки по формуле:

$$m_{hrp100} = \sqrt{\frac{m_{h1}^2 + m_{h2}^2 + m_{h3}^2}{\sqrt{3}}};$$

$$m_{hrp100} = \sqrt{\frac{6,7^2 + 4,1^2 + 5,3^2}{\sqrt{3}}} = 7,2\text{мм}$$

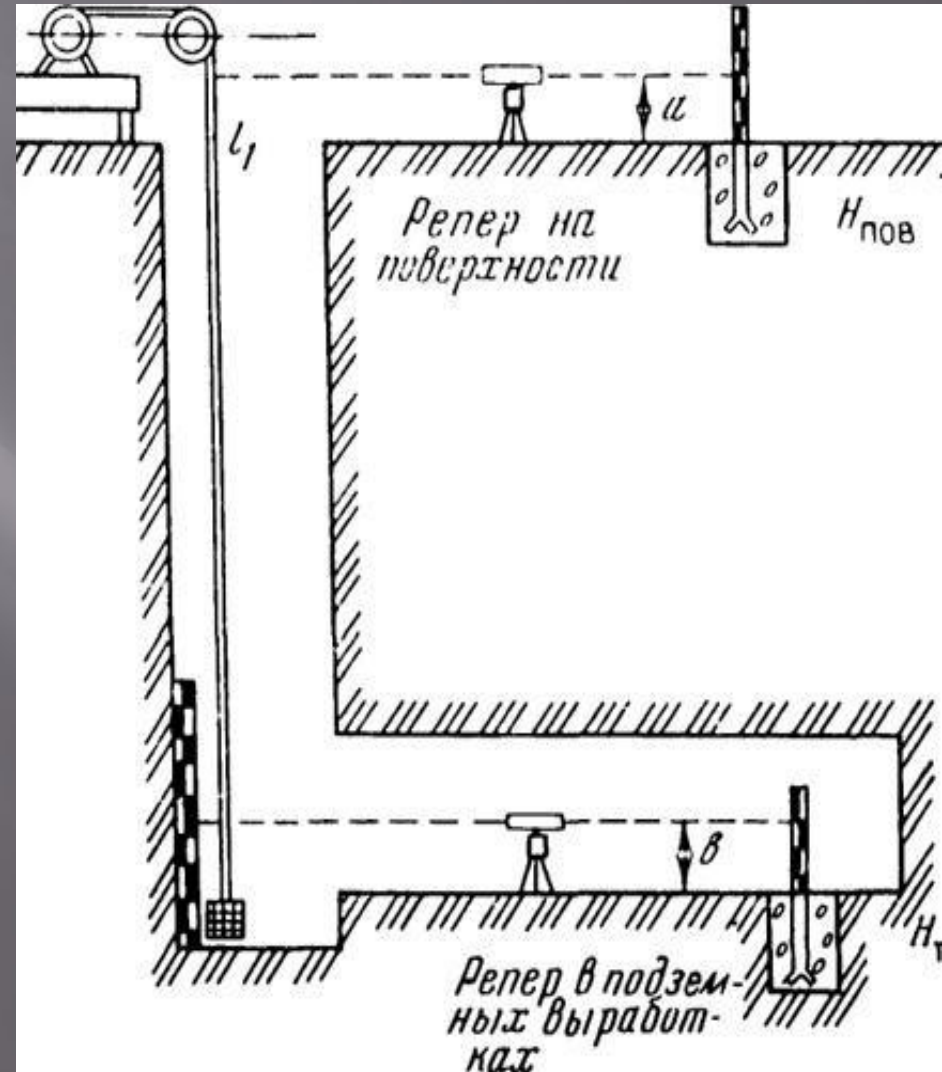
Следовательно, полученные результаты удовлетворяют вычислениям, выполненным в главе 4.1. по расчету средней квадратической погрешности построения высотного обоснования равного  $m_h = 22,5$  мм.

Для производства работ рекомендуется использовать нивелир Leica LS15 или ему равноточный.

# Передача отметки в подземные выработки

Компарированную рулетку опускают нулевым концом вниз и, закрепив другой конец над стволом, подвешивают груз с массой, при которой производилась компарирование рулетки, обычно 10 кг.

Нивелирные рейки устанавливают на исходном репере на поверхности и на репер в подземной выработке, на который передается отметка. Нивелирование выполняют двумя нивелирами, расположенными на поверхности и в подземной выработке, беря одновременно отсчеты  $l_1$  и  $l_2$  по рулетке, а затем  $a$  и  $b$  по рейкам.



# Передача отметки в подземные выработки

Отметка подземного репера вычисляется по формуле :

$$H_{\text{ш}} = H_{\text{п}} + a - \{(l_1 - l_2) + \Delta_t + \Delta_k + \Delta_l\} - b$$

Где:  $H_{\text{п}}$  — отметка исходного репера на поверхности;

$l_1$  — отсчет по рулетке на поверхности;

$l_2$  — отсчет по рулетке в подземных выработках;

$\Delta_{t,k,l}$  — поправки в длину рулетки за температуру, компарирование и удлинение;

Таким образом, общая ошибка передачи отметки стальной рулеткой на глубину 100м выразится величиной

$$m_h = \sqrt{4m_0^2 + m_{\Delta_t}^2 + m_{\Delta_l}^2}$$

В результате получим, что  $m_h = 7$  мм.

# Аналитический расчет положения трассы на кривой

Исходными данными для аналитического расчета трассы тоннеля метрополитена являются:

- Угол поворота трассы тоннеля

$$\theta = 50^{\circ}19'32''$$

- Радиус круговой кривой

$$R = 700 \text{ м}$$

- Расстояние между осями тоннеля

$$D = 25.4 \text{ м}$$

- Дирекционный угол

$$\alpha_{1\text{лев}} - \alpha_{2\text{лев}} = 54^{\circ}51'23,2''$$

- Координаты начального пикета левого тоннеля

$$X_{\text{пк0}} = 4089,487 \text{ м}$$

$$Y_{\text{пк0}} = 3170,712 \text{ м}$$

- Скорость движения состава

$$V = 80 \text{ км/ч}$$

# Аналитический расчет положения трассы на кривой

## Тангенс

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

Длина кривой:

$$K = \frac{R\theta''}{\rho''}$$

Получим:

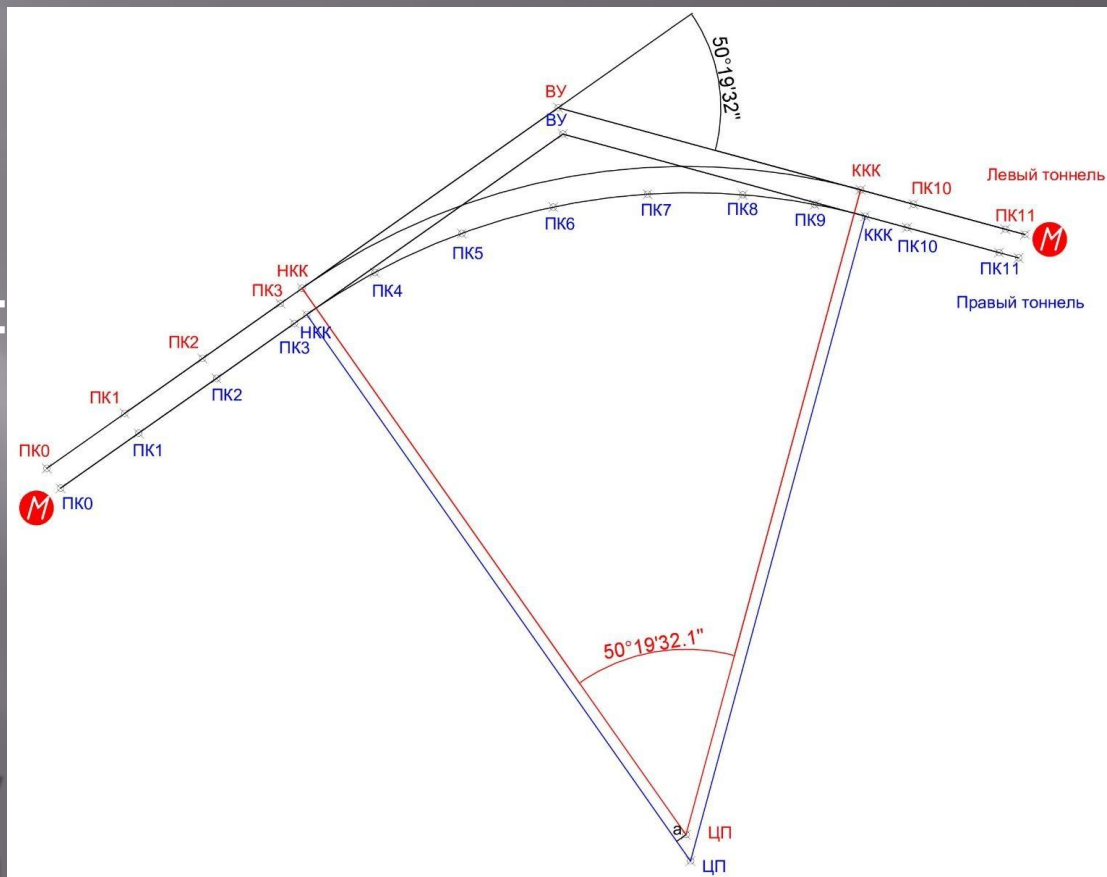
$$T = 328,840 \text{ м}$$

$$K = 614,842 \text{ м}$$

Поправка  $M$  в длину  
неправильного пикета

о  
:

$$a = 2D \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$



Длина неправильного пикета:

$$K_n = 100,000 -$$

Получим:

$$a = 23,864 \text{ м}$$

$$K_{нп} = 76,136 \text{ м}$$

# Вычисление координат пикетов на круговой кривой разбивочной оси правого тоннеля

## а) Через центральные углы и радиусы

Вычислим длины дуг:

$$K1 = PK4 - PK$$

$$HKKл = 84, 192 \text{ м};$$

$$Kп = 100\text{м};$$

$$K2 = HKKл - PK9 = 54,514 \text{ м};$$

$$Kнп = 76,136 \text{ м};$$

Контроль:

$$K1 + Kнп + 4Kп + K2 = 614,842 \text{ м} = K$$

K

Центральные углы:

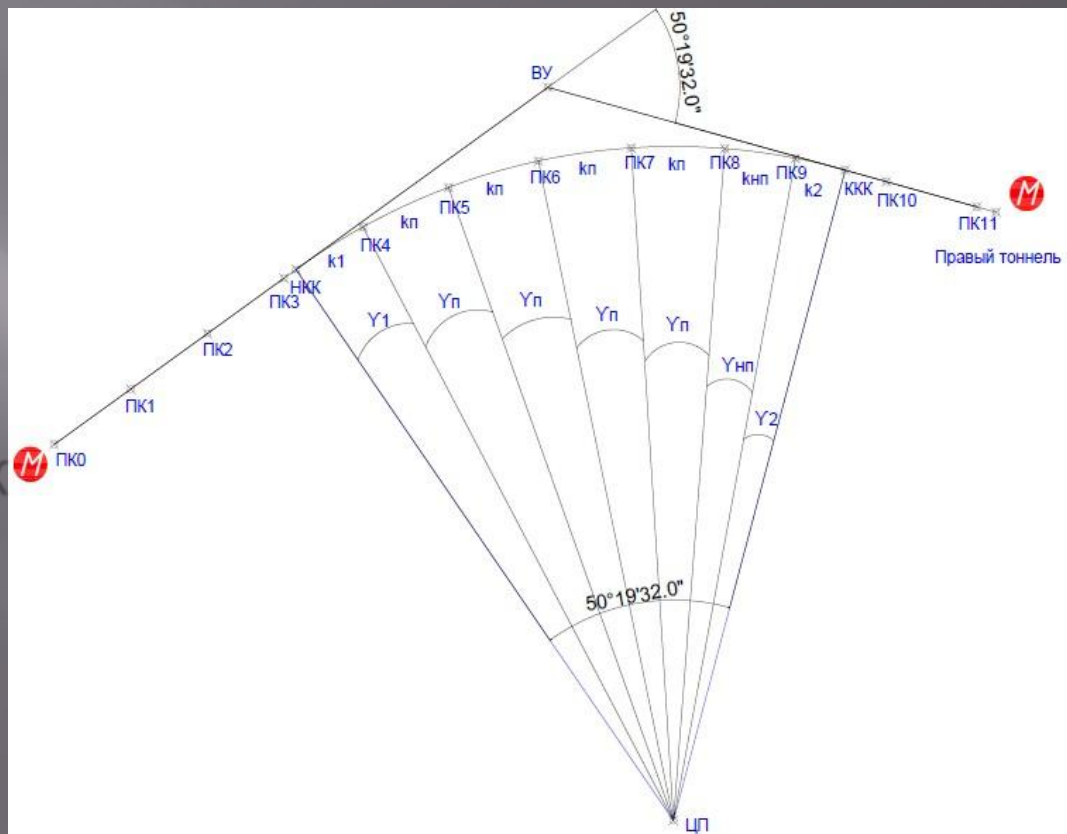
$$\gamma_1 = 6^\circ 53' 28,4''$$

$$\gamma_п = 8^\circ 11' 6,4''$$

$$\gamma_{нп} = 6^\circ 13' 54,5''$$

$$\gamma_2 = 4^\circ 27' 43,4''$$

$$\gamma_2 = 4^\circ 27' 43,4''$$



Контроль:

$$\gamma_1 + 4\gamma_п + \gamma_{нп} + \gamma_2 = 50^\circ 19' 32'' = \theta.$$

# Вычисление координат пикетов на круговой кривой разбивочной оси правого тоннеля

## б) Метод стягивающих хорд

### хорд

Координаты точек вычисляются по хордам, стягивающим дуги между пикетами, лежащими на криволинейном участке разбивочной оси и углам поворота, которые находятся по центральным углам  $\gamma_1, \gamma_{np}, \gamma_2$ .

$$b_i = 2R \sin \frac{\gamma_i}{2},$$

где  $b_i$  – длина хорды,  
 $R$  – радиусное расстояние,  
 $\gamma_i$  – центральный угол

Таким образом, получим:

$$b_1 = 84,142 \text{ м};$$

$$b_{np} = 99,915 \text{ м};$$

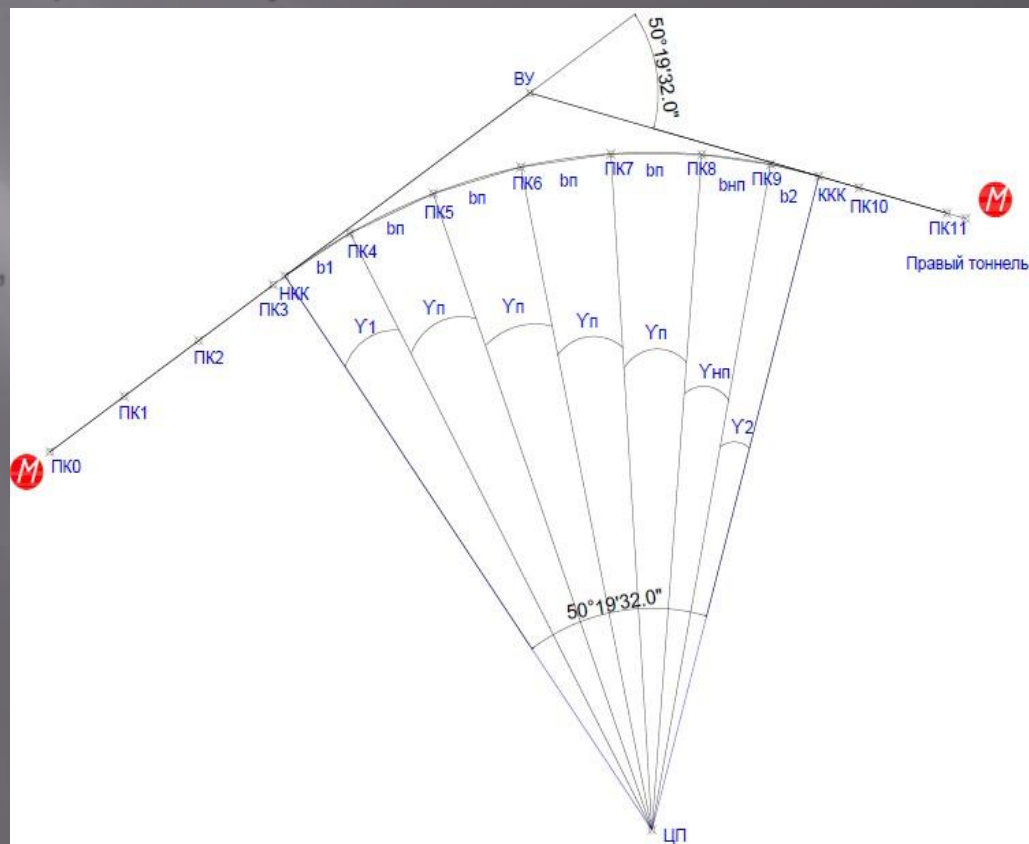
$$b_{np} = 76,098 \text{ м};$$

$$b_2 = 54,501 \text{ м};$$

$$b_{np} = 76,098 \text{ м};$$

Контроль:  
 $b_2 =$

вычисленные координаты пикетов на криволинейном участке разбивочной оси двумя методами имеют разницу не более 0,001 м.





# Вычисление координат начал переходных кривых по правому тоннелю

В качестве исходных принимают координаты точек начала и конца круговых кривых

$$t_1 = \frac{l}{2} + \frac{l^5}{60C^2}, \quad t_2 = \frac{l}{2} - \frac{l^5}{24C^2},$$

Величина смещения разбивочной оси вычисляется по формуле

$$p = \frac{l^3}{24C}$$

Радиус пути находят по формуле

$$R_{пут} = R - p$$

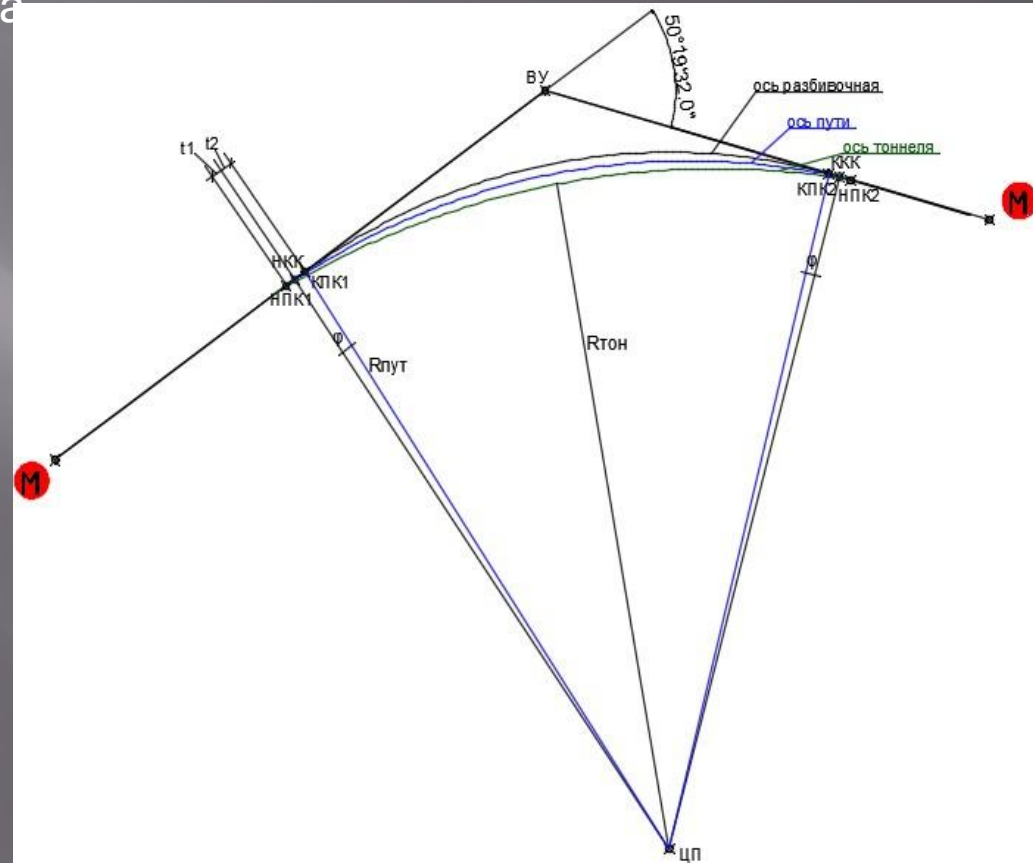
Итого получим:

$$t_1 = 18,282 \text{ м};$$

$$t_2 = 18,276 \text{ м};$$

$$p = 0,080 \text{ м};$$

$$R_{пут} = 699,920 \text{ м}.$$



# Расчет величин смещений

Величина завышения внешнего рельса по отношению к внутреннему вычисляется по формуле:  
формуле:

$$h = 12.5 \frac{V^2}{R^2}$$

где:  $V$  – средняя скорость движения состава,  
состава,  $R$  – радиус КК

Величина смещения  $q$  определяется по формуле:  
формуле:

$$q = \frac{d}{a},$$

где  $d = 1,850$  – высота центра тяжести вагона над  
над

головками рельса,

головками рельса,

$a = 1,524$  м - расстояние между рельсами.

$a = 1,524$  м - расстояние между рельсами.

Таким образом,  
Таким образом, получим:

получим:  $h = 114$  мм;  
 $h = 114$  мм;

$q = 139$  мм.

# Вычисление координат концов переходных кривых на оси пути

## а) Через центральный угол

Угол полного поворота переходной кривой от разбивочной оси к оси пути  $\phi$  вычисляется по формуле

$$\phi = \frac{L^2}{2C \rho''}$$
$$\phi = 1^\circ 29' 46.7''$$
$$R_{\text{пут}} = 699,920 \text{ м.}$$

## б) Через абсциссу и ординату КК

Абсцисса и ордината круговой кривой вычисляется по формулам

$$X = L - \frac{L^5}{40C^2}$$
$$Y = \frac{L^3}{6C}$$

Контроль: вычисленные координаты концов переходных кривых по оси пути двумя методами имеют разницу не более 0,001 м.

# Расчет координат для ведения щита при прокладке перегонного тоннеля

Необходимо разбить ось тоннеля ровно через 10 м. Расчет координат для ведения щита при прокладке перегонного тоннеля будет вестись через центральные углы.

Общая длина круговой кривой оси тоннеля вычисляется по формуле:

$$K_T = \frac{R_T Q}{\rho''}$$

Центральный угол для оси тоннеля найдем по формуле

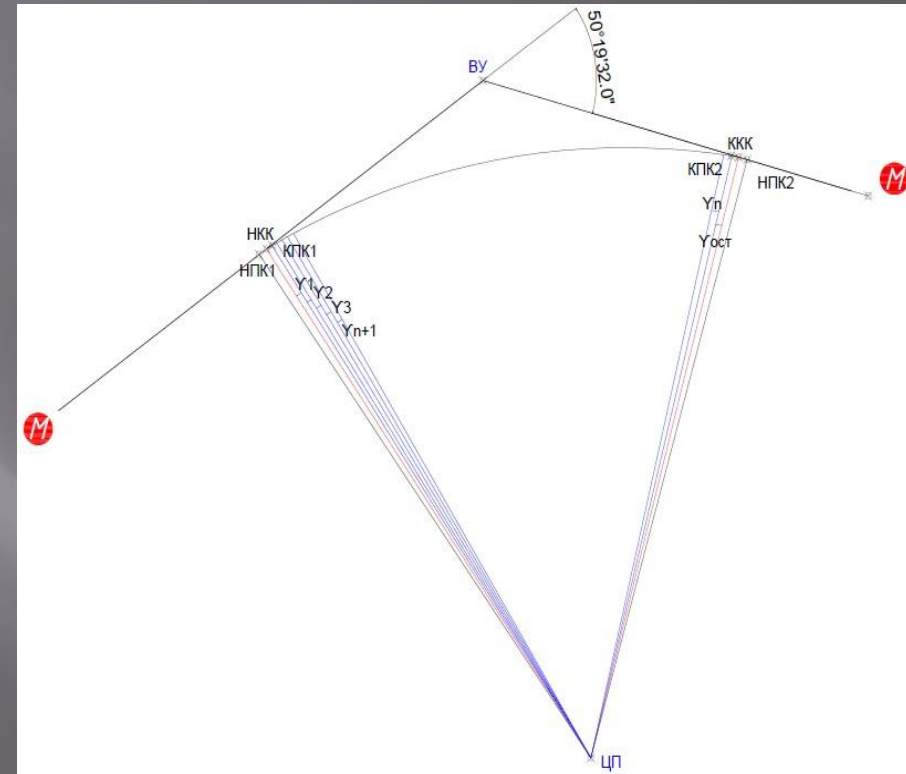
$$Q_T = \theta - 2\phi$$

Центральный угол для участка равного 10 м находится по формуле

$$\gamma_{10} = \frac{k_{10} \rho''}{R_{нум}}$$

Центральный угол для остаточной длины круговой кривой находится по формуле

$$\gamma_{ост} = \frac{k_{ост} \rho''}{R_{нум}}$$



Центральные углы:

$$\gamma_{10} = 0^\circ 49' 7,0''$$

$$\gamma_{ост} = 0^\circ 39' 47,1''$$

# Заключение

В процессе выполнения курсовой работы было выполнено:

1. Проектирование геодезической разбивочной основы на дневной поверхности и аналитический расчет точностных характеристик основной и подходной полигонометрии; высотной основы на дневной поверхности и аналитический расчет точности;
2. Проектирование высотной основы на дневной поверхности и аналитический расчет точности;
3. Описаны технологии ориентирования плановой основы для передачи координат и дирекционного угла в шахту, а так же передачи отметки в шахту;
4. Производств работ даны точностными требованиями производства работ даны рекомендации по выбору средств измерений; положения трассы на кривой.
5. Выполнен расчет положения трассы на кривой.

Выполненный предрасчёт точности указанных видов геодезических работ позволяет сделать вывод о том, что данный проект соответствует требованиям нормативной документации и может быть реализован на местности.

# Список использованной литературы

1. Руководство по развитию съемочного и съемке ситуации и рельефа в масштабах и использованием СНиП 32-02-2003 Москвы с
2. Авакян В.В. Прикладная геодезия: Геодезическое обеспечение строительного производства. М.: Вузовская книга, 2011.-256 с.: ил.
3. Марфенко С.В. Геодезические работы при строительстве тоннелей и подземных сооружений. Учебное пособие.-м.:МИИГАиК, 2004,с...ил.
4. ВСН 160-69 Инструкция по геодезическим и при маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей
5. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов
6. СП 120.13330.2012 Метрополитены.Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003

**Спасибо за внимание**