

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра маркшейдерского дела**

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТ  
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**РАСЧЕТ ПРОЕКТНОГО ПОЛИГОНА  
ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2020**

УДК 622.1 (073)

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ. Расчет проектного полигона околоствольных выработок:** Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.Ю. Новоженин, М.Г. Выстрчил, Д.А. Илюхин*. СПб, 2020. 23 с.

Методические указания включают теоретические основы, содержание и порядок выполнения лабораторных работ по составлению проекта сопряжения горных выработок и проектированию замкнутого полигона околоствольных выработок. Необходимые вычисления могут быть выполнены с использованием программных продуктов MathCad, MS Excel и др. Графическая часть выполняется с применением САПР AutoCad.

Выполнение данной работы позволит студентам закрепить теоретические знания по маркшейдерскому обеспечению проходки горных выработок и получить практические навыки проектирования.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Маркшейдерское дело» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Маркшейдерские работы при строительстве шахт и подземных сооружений».

Научный редактор проф. *В.Н. Гусев*

Рецензент к.т.н. *А.С. Наумов* (ОП «ГСУ «Адмиралтейское»)



1. Обрабатывают криволинейные участки. На закруглении (рис.18) определяют количество точек по схеме, составленной в крупном масштабе, или вычисляют по формуле:

$$\sin \frac{\alpha'}{4} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{l}{R}} \quad (1)$$

где  $\alpha'$  – центральный угол, соответствующий максимальной длине стороны (хорды);  $l$  – ширина выработки;  $R$  – радиус закругления.

Угол  $\alpha'$  вычислен при соблюдении следующих условий: максимальная длина стороны и наличие видимости между соседними точками.

Определяют число сторон на закруглении по формуле:

$$n' = \alpha_0 / \alpha' \quad (2)$$

Если рассчитанное значение  $n'$  - не целое число, то его округляют в большую сторону до целого. Окончательное значение центрального угла для одной хорды:

$$\alpha = \alpha_0 / n \quad (3)$$

2. Углы  $\beta_A$  и  $\beta_B$  на сопряжении закругления и прямолинейных участков, а также углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  внутри кривой определяют следующим образом:

$$\beta_A = \beta_B = 180^\circ - \frac{\alpha_0}{2n} = 180^\circ - \frac{\alpha}{2} \quad (4)$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 180^\circ - \frac{\alpha_0}{n} = 180^\circ - \alpha$$

3. Длину сторон (хорды) на криволинейном участке вычисляют по формуле:

$$S = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

4. Выбирают условную систему координат, за центр которой принимают центр ствола (Ц), намечают точки проектного полигона и вычисляют координаты этих точек (рис.3).

Проектные полигоны, как правило, имеют замкнутую форму, и, следовательно, можно проверить вычисление углов полигона сравнением фактической суммы углов с теоретической (для внутренних и внешних углов соответственно):

$$\begin{aligned} \Sigma \beta_T &= 180^\circ(n - 2) \\ \Sigma \beta_T &= 180^\circ(n + 2). \end{aligned} \quad (6)$$

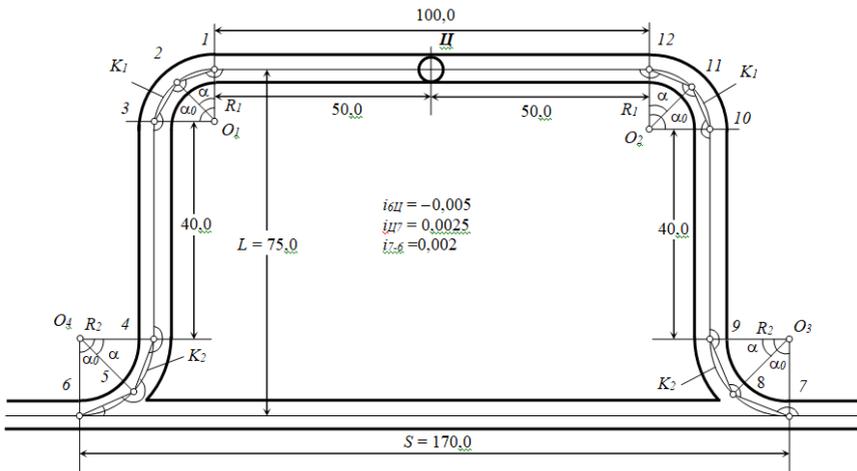


Рис.3. Проект полигона околоствольных выработок

При правильном вычислении углов угловая невязка равна нулю ( $f_\beta = 0$ ). Линейную невязку в полигоне определяют по известной методике. Если невязка не превышает допустимого значения  $f_S = 1:2000$ , то поправки вносят не во все стороны, а только в максимальные стороны прямолинейных участков, оставляя без изменений элементы закруглений и узлов сопряжения выработок.

5. После обработки проектных полигонов в плане выполня-

ют их обработку в вертикальной плоскости: определяют превышения  $\Delta h$  между характерными точками или уклоны  $i$  выработок между этими точками.

Если в проекте заданы высотные отметки точек, то уклон выработки между этими точками составит:

$$i = \Delta h / S \quad (7)$$

Если проектом задан уклон  $i$ , то превышение между точками может быть рассчитано по формуле:

$$\Delta h = i \cdot S \quad (8)$$

Для контроля вычисления превышений в замкнутом полигоне используют выражение:

$$\sum \Delta h = 0 \quad (9)$$

В разомкнутом полигоне между точками  $A$  и  $B$ , высотные отметки которых  $H_A$  и  $H_B$  известны, превышение определяется по известной формуле:

$$\sum h = H_B - H_A \quad (10)$$

### Пример расчета

Требуется выполнить расчет проектного полигона околоствольных выработок. Исходные данные: ширина выработки  $l=3,5$  м; элементы закруглений  $R_1 = 15$  м,  $R_2 = 20$  м, центральные углы поворота  $\alpha_0 = 90^\circ$ ; длина прямолинейных участков и уклоны выработок приведены на схеме полигона (см. рис. 3).

При составлении проекта полигона выполняют разбивку точек на закруглениях, определяют углы и длины сторон. На прямолинейных участках длины сторон принимают в соответствии с проектным чертежом. При расчете полигона используют принятую на шахте систему координат или выбирают условную.

*Решение.* 1. Определяем количество сторон (хорд) на закруглениях из выражения (1):

$$\sin \frac{\alpha'_1}{4} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3,5}{15,0}} = 0,21; \quad \alpha'_1 = 48^\circ$$

$$\sin \frac{\alpha'_2}{4} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3,5}{20,0}} = 0,24; \quad \alpha'_2 = 56^\circ$$

$$n'_1 = \frac{\alpha_0}{\alpha'_1} = \frac{90^\circ}{48^\circ} = 1,9$$

$$n'_2 = \frac{\alpha_0}{\alpha'_2} = \frac{90^\circ}{56^\circ} = 1,6$$

Принимаем  $n_1 > n'_1 = 2$ ;  $n_2 > n'_2 = 2$ ; тогда

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{n} = \frac{90^\circ}{2} = 45^\circ$$

2. Вычисляем углы в точках, расположенных в начале и конце кривой, а также внутри закруглений по формулам (4):

$$\beta_1 = \beta_3 = \beta_{10} = \beta_{12} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2 \cdot 2} = 157^\circ 30'$$

$$\beta_2 = \beta_{11} = 180^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 137^\circ 00'$$

$$\beta_4 = \beta_9 = 360^\circ - 157^\circ 30' = 202^\circ 30';$$

$$\beta_5 = \beta_8 = 225^\circ 00'; \quad \beta_6 = \beta_7 = 22^\circ 30'.$$

3. Длины сторон на закруглениях  $S$  определяем по формуле (5):

$$S_1 = 2 \cdot 15,0 \cdot 0,38267 = 11,480 \text{ м}; \quad S_2 = 2 \cdot 20,0 \cdot 0,38267 = 15,307 \text{ м}.$$

4. Координаты точек проектного полигона вычисляем в формуляре вычисления координат в условной системе. Рассчитываем угловую и линейную невязку:  $f_\beta = 0$ ;  $\sum \Delta y = 0$ ;  $\sum \Delta x = 0$ .

5. Превышения определяем по формуле (8):

$$\Delta h_{6-Ц} = 145(-0,005) = -0,725 \text{ (м)}; \quad \Delta h_{Ц-7} = 145 \cdot 0,0025 = 0,362 \text{ (м)};$$

$$\Delta h_{7-6} = 170 \cdot 0,002 = 0,340 \text{ (м)}; \quad \Sigma \Delta h = -0,023 \text{ м} < 0,034 \text{ (м)};$$

$$\Sigma \Delta h_{дон} = 50\sqrt{L} = 50\sqrt{0,46} = 34 \text{ (мм)}.$$

Выполненный расчет свидетельствует, что проект околоствольных выработок составлен правильно и полученные данные можно использовать для задания направления горным выработкам.

### Исходные данные для обработки проектных полигонов

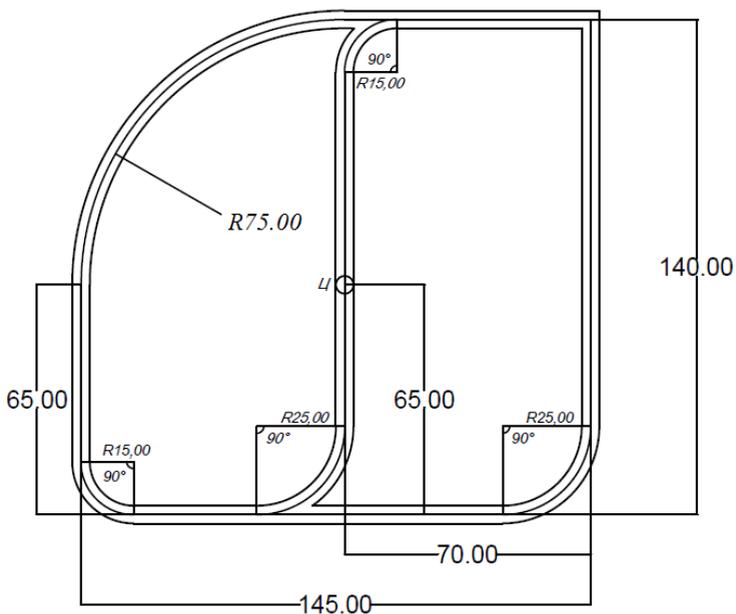


Рис.4. Вариант 1.

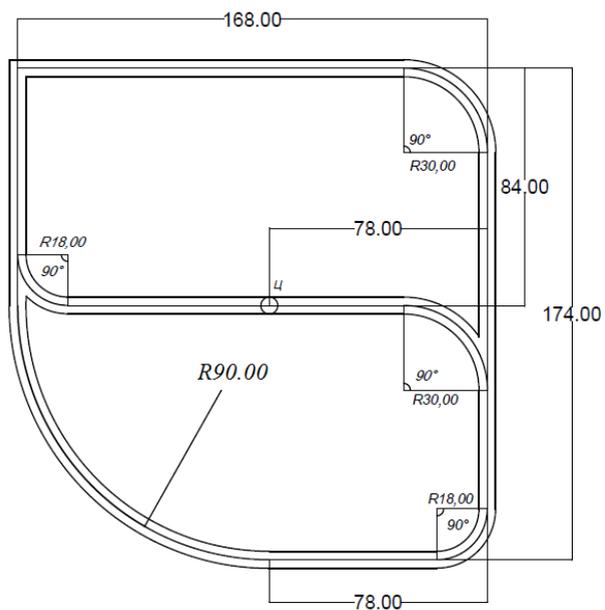


Рис.5. Вариант 2.

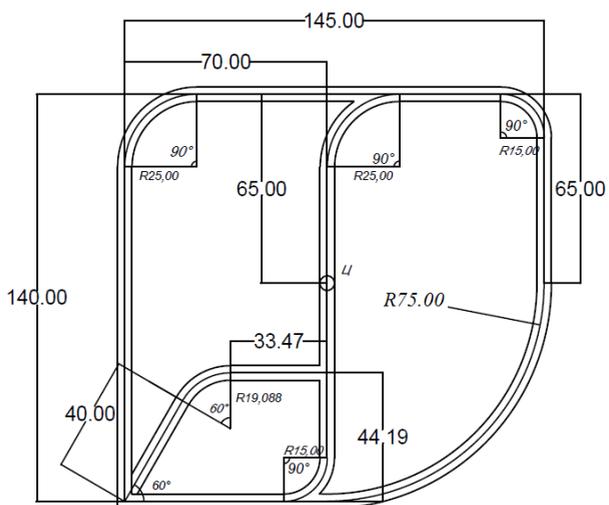


Рис.6. Вариант 3.

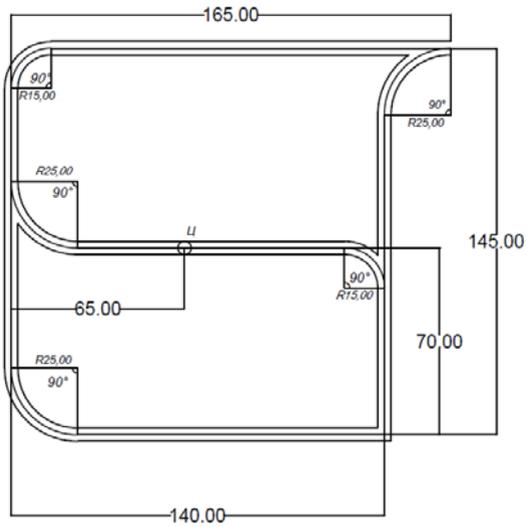


Рис.7. Вариант 4.

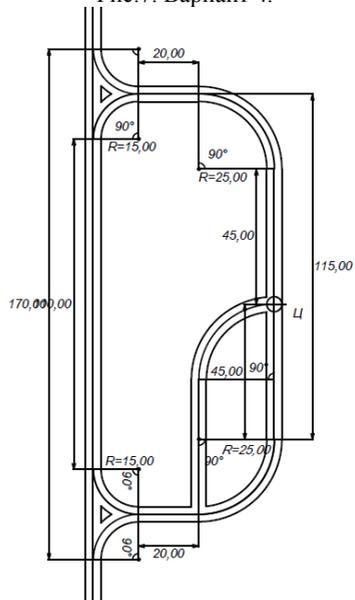


Рис.8. Вариант 5.

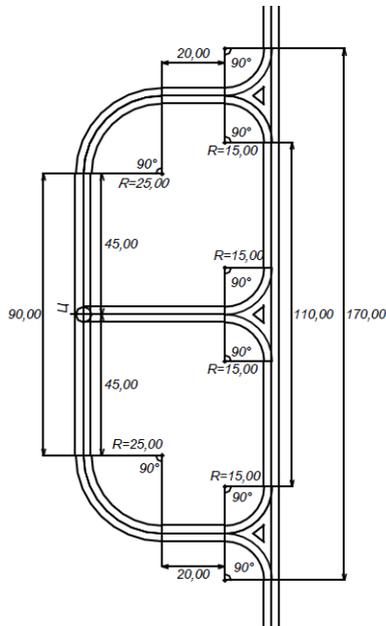


Рис.9. Вариант 6.

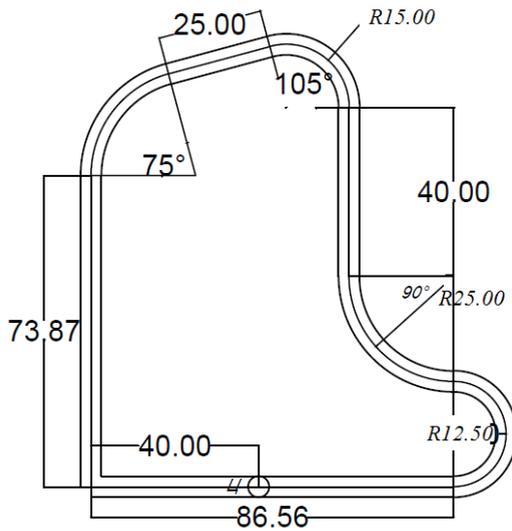


Рис.10. Вариант 7.

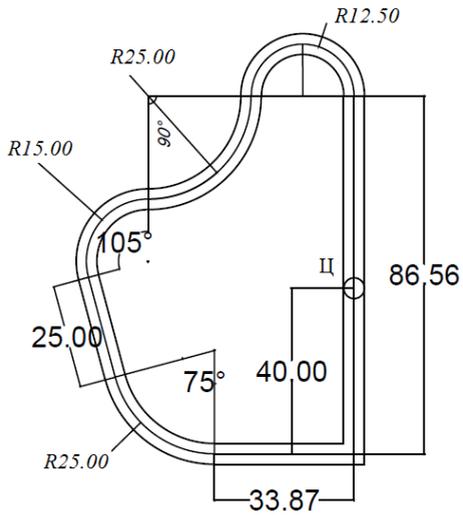


Рис.11. Вариант 8.

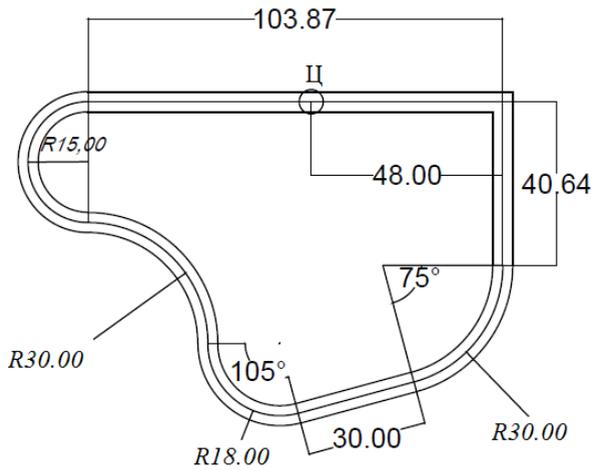


Рис.12. Вариант 9.

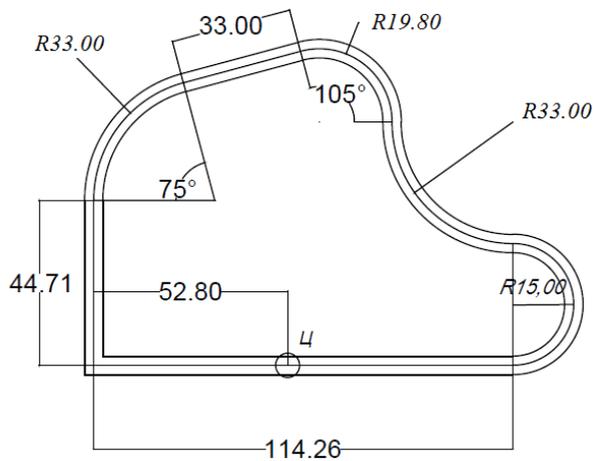


Рис.13. Вариант 10.

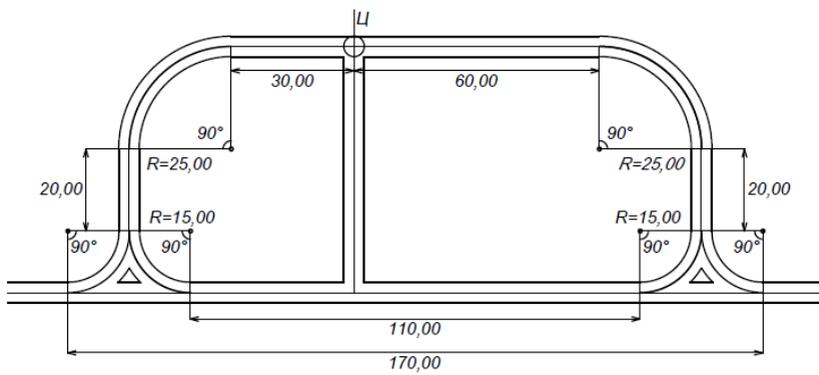


Рис.14. Вариант 11.



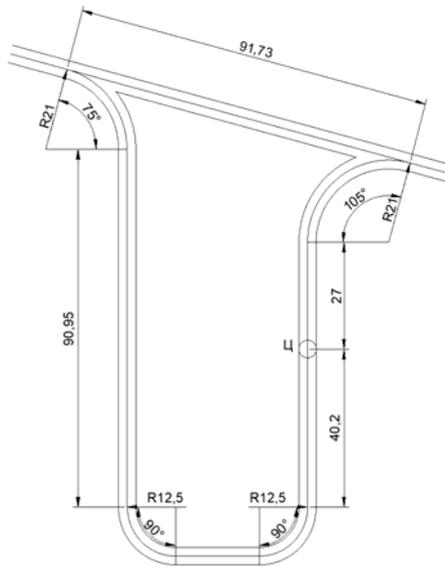


Рис.17. Вариант 14.

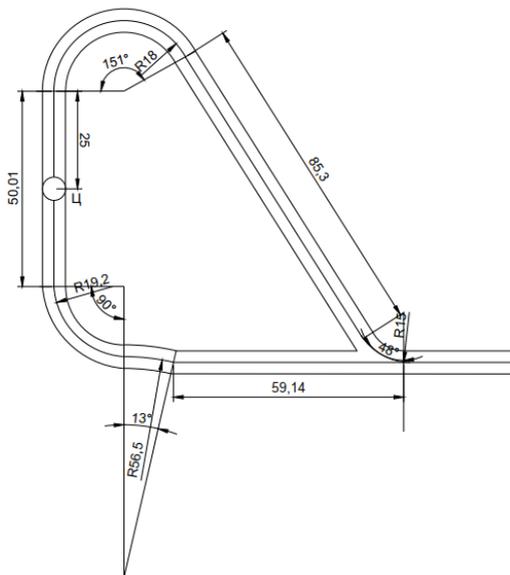


Рис.18. Вариант 15.

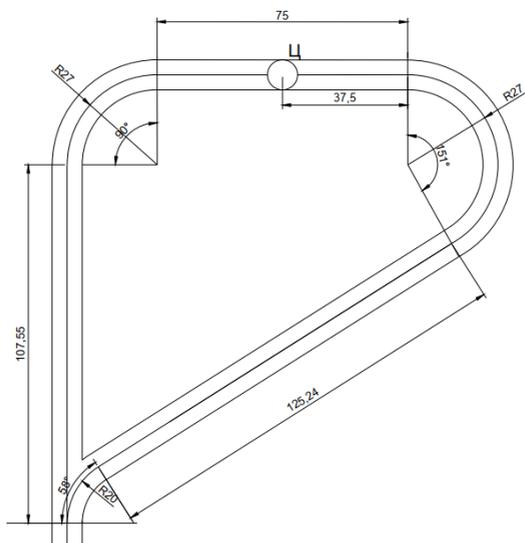


Рис.19. Вариант 16.

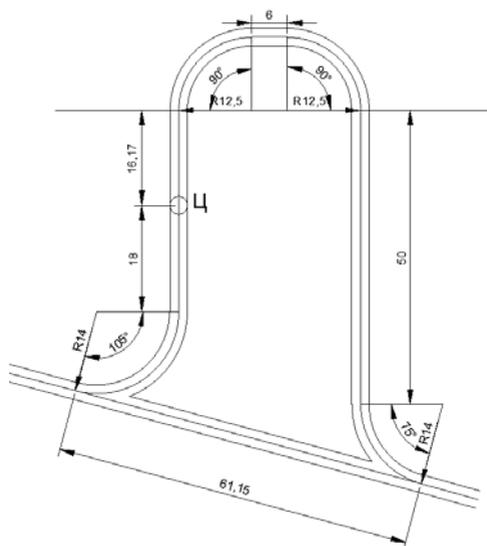


Рис.20. Вариант 17.

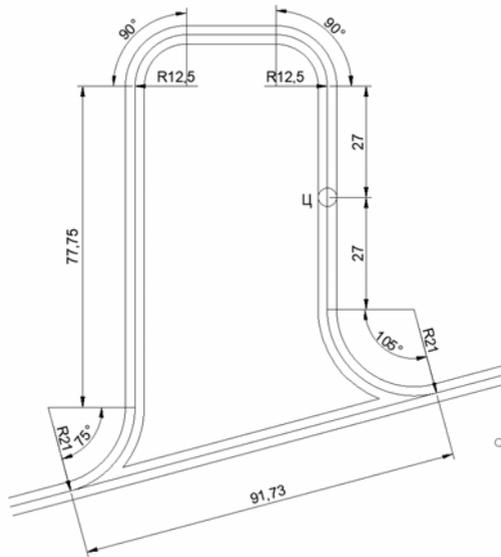


Рис.21. Вариант 18.

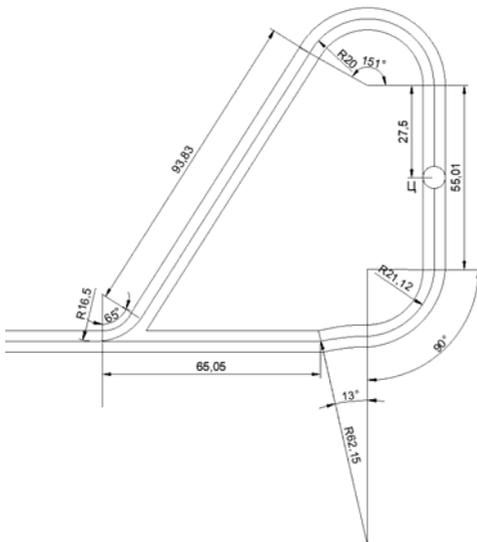


Рис.22. Вариант 19.

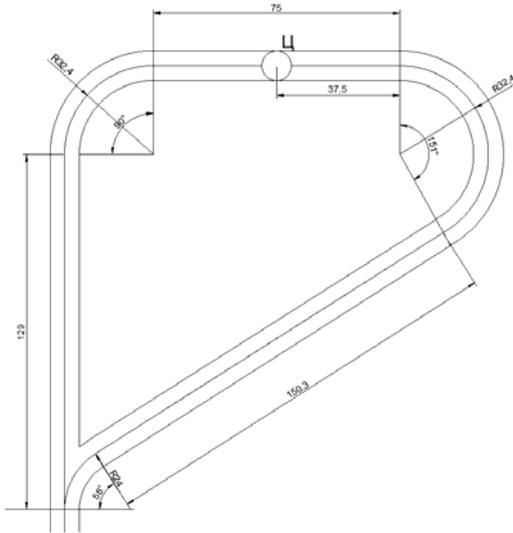


Рис.23. Вариант 20.

### Решение задач при расчете сопряжений горных выработок

Расчеты выполняются в следующей последовательности (рис.24).

1. Вычисляем угол поворота  $\beta_2$ :

$$\beta_2 = \alpha_{CD} - \alpha_{BA} + 360^\circ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{CD} = \frac{y_D - y_C}{x_D - x_C}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{BA} = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}$$

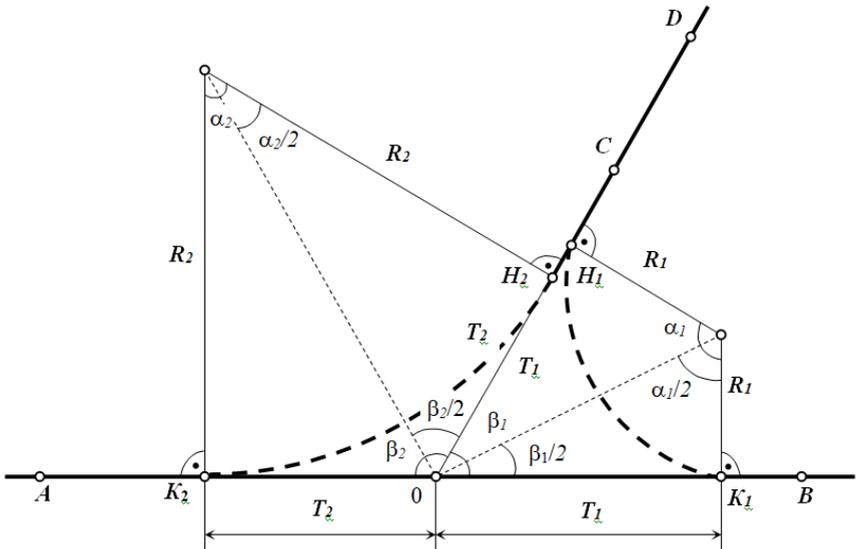


Рис. 24. Расчетные элементы сопряжения горных выработок (для вариантов 1-10)

2. Определяем центральный угол  $\alpha_2$ :

$$\frac{\alpha_2}{2} = 90^\circ - \frac{\beta_2}{2}; \quad \alpha_2 = 180^\circ - \beta_2.$$

3. Вычисляем координаты точки  $O$  - точки пересечения  $CD$  и  $AB$ :

$$y_0 = \frac{y_C \operatorname{ctg} \alpha_{CD} - y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BA} + (x_B - x_C)}{\operatorname{ctg} \alpha_{CD} - \operatorname{ctg} \alpha_{BA}};$$

$$x_0 = \frac{x_C \operatorname{tg} \alpha_{CD} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{BA} + (y_B - y_C)}{\operatorname{tg} \alpha_{CD} - \operatorname{tg} \alpha_{BA}}.$$

4. Вычисляем тангенс ( $T_2$ ) кривой  $R_2$ , т.е. расстояние  $OH_2$  и  $OK_2$ :

$$T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{2}; \quad T_2 = OH_2 = OK_2.$$

5. Определяем координаты начала ( $H_2$ ) и конца ( $K_2$ ) кривой  $R_2$ :

$$\begin{aligned} x_{H_2} &= x_0 + T_2 \cos \alpha_{CD}; & y_{K_2} &= x_0 + T_2 \cos \alpha_{BA}; \\ y_{H_2} &= y_0 + T_2 \sin \alpha_{CD}; & y_{K_2} &= x_0 + T_2 \sin \alpha_{BA}. \end{aligned}$$

6. Вычисляем расстояние  $CH_2$  и  $K_2A$ :

$$CH_2 = \frac{y_c - y_{H_2}}{\sin \alpha_{DC}} = \frac{x_c - x_{H_2}}{\cos \alpha_{DC}};$$

$$K_2A = \frac{y_A - y_{K_2}}{\sin \alpha_{BA}} = \frac{x_A - x_{K_2}}{\cos \alpha_{BA}}.$$

7. Определяем число хорд на закруглении  $R_2$  по формуле (1):

$$\sin \frac{\alpha'_2}{4} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{l}{R_2}}; \quad n' = \frac{\alpha_{02}}{\alpha_i}; \quad n \geq n'$$

8. Вычисляем углы и длины сторон хода на закруглении  $R_2$  по формулам (4) и (5).

Закругление  $R_1$  обрабатывается аналогично закруглению  $R_2$ . После этого составляется ведомость вычисления координат теодолитного хода  $D-C-H_2-K_2-A-0-B-K_1-H_1-CD$ .

### Задание

#### 1. Составление проекта сопряжения горных выработок.

Для вариантов 1-10 исходные данные приведены в табл.1 и на рис.24. Для вариантов 11-20 исходные данные приведены в табл.1 и на рис.25.

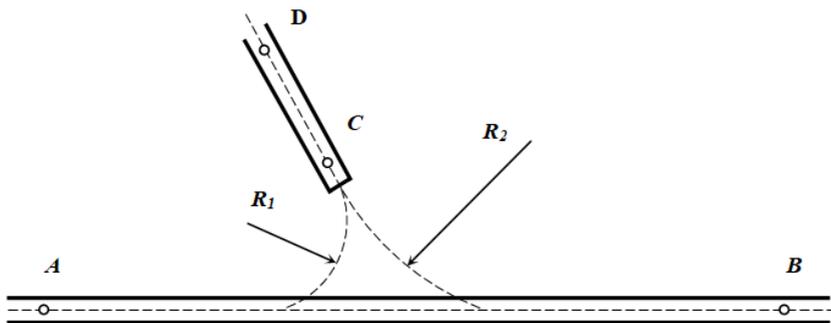


Рис. 25. Схема сопряжения горных выработок (для вариантов 11-20)

Требуется определить: 1) угол поворота; 2) центральный угол; 3) число и длины хорд; 4) углы между хордами; 5) координаты начала и конца закругления выработки при ее сопряжении с другой выработкой.

Таблица 1

Элементы сопряжения горных выработок, м

№	$x_A$	$y_A$	$x_B$	$y_B$	$x_C$	$y_C$	$x_D$	$y_D$	$H_A$	$H_C$	$R_1$	$R_2$	$l$
1	298,54	349,50	298,54	481,10	357,68	428,37	432,74	483,50	45,35	45,53	15	30	3,0
2	282,40	360,07	300,85	498,32	357,05	419,63	447,52	443,06	212,40	212,60	20	40	3,0
3	300,96	362,07	290,80	497,63	363,67	463,52	420,64	496,62	-310,10	-309,85	25	30	3,5
4	262,84	366,53	267,30	379,28	335,67	434,20	397,09	441,10	-475,00	-474,85	20	30	3,5
5	230,00	330,00	230,00	480,90	289,27	385,82	349,52	399,70	-211,45	-211,20	20	35	3,0
6	449,37	430,02	449,37	558,70	493,72	475,20	551,80	434,45	-515,10	-514,90	20	40	3,5
7	137,33	382,1	137,33	514,29	180,9	466,66	216,81	482,82	28,45	28,75	15	30	3,5
8	193,1	345,88	193,1	478,06	235,44	436,57	272,58	446,60	65,85	65,65	20	30	3,5
9	237,71	215,08	237,71	347,27	278,97	294,14	317,19	315,8	233,70	233,45	25	35	3,5
10	81,30	503,43	81,30	635,62	124,35	589,19	160,79	604,15	12,65	12,65	15	20	3,5
11	442,70	418,40	476,92	551,84	515,38	478,00	576,65	452,47	35,40	35,65	25	35	3,0
12	458,08	450,08	473,27	573,49	506,80	491,07	575,39	476,06	242,50	242,75	15	30	3,0
13	469,09	430,15	490,52	538,73	530,82	497,98	591,07	496,00	-510,47	-510,25	20	30	3,0
14	490,09	469,25	486,06	568,13	521,50	469,02	588,04	435,30	118,15	118,35	15	20	3,5
15	228,84	501,03	228,84	633,21	271,88	552,11	308,32	537,15	34,60	34,35	30	20	3,5
16	283,19	296,17	283,19	428,36	322,7	342,47	362,67	332,30	30,70	30,50	25	30	3,5
17	254,74	248,43	254,74	380,61	298,49	298,45	334,22	284,55	35,50	35,20	20	30	3,0
18	197,26	55,15	197,26	187,34	240,22	105,64	276,74	91,28	98,10	98,30	20	35	3,5
19	303,38	56,03	303,38	188,21	353,78	108,08	382,86	92,15	45,40	45,60	25	35	3,0
20	331,79	315,69	331,79	447,88	376,69	356,7	411,27	351,81	-230,20	-230,50	15	30	3,0

## 2. Расчет проектного полигона околоствольных выработок.

Исходные данные для обработки проектных полигонов замкнутой формы приведены на рис. 4-23.

Требуется: 1) выполнить разбивку точек и определить углы и длины сторон на закруглениях проектного полигона; 2) рассчитать проектный полигон; 3) составить схему проектного полигона околоствольных выработок с указанием углов и расстояний.

### **Библиографический список**

1. РД 07-603-03 Инструкция по производству маркшейдерских работ Введ. 2003-06-29. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2004, 50 с.

2. Маркшейдерское дело: Учеб. для вузов / Д.Н.Оглоблин, Г.И.Герасименко, А.Г.Акимов и др. 3-е изд., перераб. и доп. М., «Недра», 1981, 704 с.

3. Маркшейдерское дело: Учеб. для вузов. В двух частях / Под ред. И.Н. Ушакова. 3-е изд., перераб. и доп. М., «Недра», 1989. Часть 2 / А.Н.Белоликов, В.Н.Земисев, Г.А.Кротов и др, 437 с.

4. *Чумак В.К., Гусев В.Н.* Маркшейдерские работы в шахтном строительстве: Практикум / СПГГИ(ТУ). СПб, 2003. 52 с. / ISBN 5-9421-1094-8.

## Содержание

Расчет проектного полигона околоствольных выработок.....	3
Пример расчета .....	6
Исходные данные для обработки проектных полигонов.....	8
Решение задач при расчете сопряжений горных выработок .....	18
Задание.....	20
Библиографический список	22

**МАРКШЕЙДЕРСКИЕ РАБОТЫ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТ  
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**РАСЧЕТ ПРОЕКТНОГО ПОЛИГОНА  
ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к лабораторным работам  
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *С.Ю. Новоженин, М.Г. Выстрчил, Д.А. Илюхин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
маркшейдерского дела

Ответственный за выпуск *С.Ю. Новоженин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.06.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 50 экз. Заказ 451.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2