

УДК 528.022.3

И. С. ТРЕВОГО

МЕТОД УЧЕТА ОТКЛОНЕНИЯ ПУНКТОВ ОТ ТРАССЫ ПРИ ВЫНОСЕ В НАТУРУ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

При выносе в натуру проекта воздушной высоковольтной линии электропередачи (ВЛ) наблюдаются случаи отклонения трассы от намеченного направления. Часто эти отклонения преднамеренные, они вызваны необходимостью обхода препятствий, возникающих на трассе

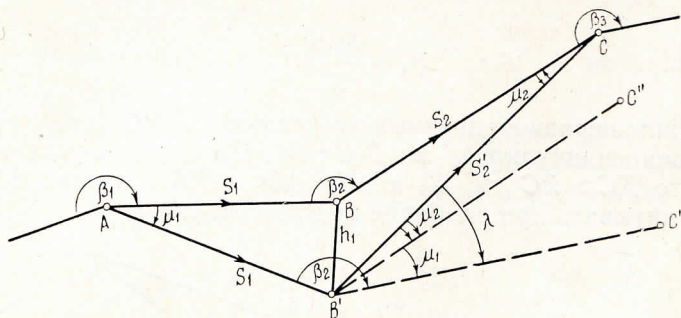


Рис. 1. Схема трассы ВЛ на участке отклонения.

ВЛ уже после проведения топогеодезических изысканий. Подобные случаи приводят к повторным геодезическим работам. Однако при благоприятных условиях последнего можно избежать, если рассчитать и ввести поправки в углы поворота трассы. Разумеется, речь может идти о тех отклонениях, при которых: а) смещение трассы не вызовет существенного изменения профиля; б) не произойдет недопустимого нарушения габаритов трассы при ее пересечении с инженерными сооружениями; в) не нарушатся требования инструкции о допустимом сближении ВЛ с постройками, местными предметами, дорогами и прочими объектами. А в практике случаи, удовлетворяющие перечисленным требованиям, довольно часты.

На рис. 1 изображен участок трассы ВЛ. Мы дадим вывод формул, чтобы рассчитать величины поправок для наиболее общего случая, когда между пунктами A и B , B и C нет видимости. Примем, что у вершин A , B и C измерены левые углы β_1 ; β_2 ; β_3 . Пусть при выносе в натуру трассы в точке A произошло угловое отклонение на величину μ_1 , вследствие чего точка B сместилась в положение B' . При этом $AB = AB' = S_1$. Если далее отложить в точке B' угол β_2 и продолжить разбивку, то точка C сместится в положение C' . В данном случае можно обойтись без переразбивки трассы. Для этого, убедившись, что линии AB' и $B'C$ удовлетворяют трем упомянутым выше условиям, определим поправку в угол β_2 и, не сходя с точки B' , продолжим разбивку ВЛ. После достижения точки C изменим угол β_3 на величину погрешности μ_2 и таким образом выйдем на заданное направление.

Рассмотрим подробно вывод формул для поправок. Как видно из рис. 1,

$$\beta_2' = \beta_2 - \lambda, \quad (1)$$

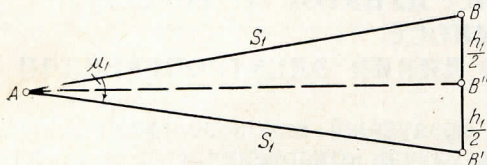
где $\lambda = \mu_1 + \mu_2$ — суммарная угловая поправка.

Исправленный угол β_3' при вершине C найдем по формуле

$$\beta_3' = \beta_3 + \mu_2. \quad (2)$$

Для определения величины μ_1 рассмотрим треугольник $AB'B$, показанный на рис. 2.

Поскольку по условию AB' равно AB , то треугольник ABB' равнобедренный, и перпендикуляр AB'' , опущенный из точки A на основание BB' , разделит это основание на две равные части. Тогда по малости угла μ_1 будем иметь



$$\frac{h_1}{2 \cdot S_1} = \sin \frac{\mu_1}{2} = \frac{\mu_1}{2\rho}, \quad (3)$$

Рис. 2. К определению поправки μ_1 .

Отсюда

$$\mu_1 = \frac{h_1 \cdot \rho}{S_1}. \quad (4)$$

Рассмотрим неравнобедренный треугольник $B'BC$ (рис. 3). Опустим из точки B перпендикуляр h_2' на $B'C = S_2'$. По малости угла μ_2 можно допустить, что $KC \simeq BC \simeq S_2$ и $\Delta S \simeq \Delta S' \simeq B'K$. Отрезок ΔS следует измерять и учитывать при разбивке центров опор ВЛ.

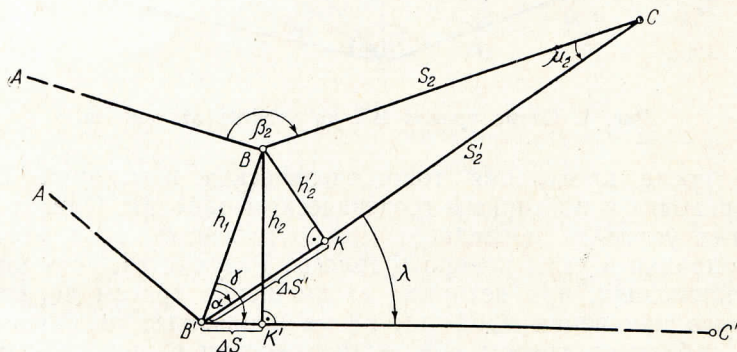


Рис. 3. К определению величин μ_2 , Δh , $(\Delta S' - \Delta S)$.

Величину μ_2 определим из прямоугольного треугольника BKC , для которого имеем

$$\sin \mu_2 = \frac{h_2'}{S_2}, \quad \text{или} \quad \mu_2' = \frac{h_2 \cdot \rho'}{S_2}. \quad (5)$$

Однако в натуре измерить длины отрезка $\Delta S'$ и перпендикуляра h_2' , опущенного из точки B на направление $B'C$, нет возможности, поскольку, не зная поправки λ , нельзя получить исправленное направление $B'C$. Вместо перпендикуляра h_2' мы найдем перпендикуляр h_2 , опущенный из точки B на направление $B'C'$. Аналогично этому вместо $\Delta S' = B'K$ получим $\Delta S = B'K'$. Направление $B'C'$ определим, откладывая в точке B известный угол.

Покажем вначале, что величина h_2' не отличается существенно от h_2 и установим, в каких случаях их разница не окажет влияния на точность определения μ_2 .

Обратимся к рис. 3, из которого следует

$$h_2' = h_1 \sin \alpha \text{ и } h_2 = h_1 \sin \gamma. \quad (6)$$

Для погрешности Δh с учетом (6) будем иметь

$$\Delta h = h_2 - h_2' = h_1 (\sin \gamma - \sin \alpha) = 2h_1 \left(\sin \frac{\gamma - \alpha}{2} \cdot \cos \frac{\gamma + \alpha}{2} \right).$$

Но $\gamma - \alpha \approx \lambda$, поэтому при малом λ

$$\Delta h = \frac{h_1 \cdot \lambda'}{\rho'} \cdot \cos \frac{\gamma + \alpha}{2}. \quad (7)$$

Если $\beta_2 = 120^\circ$ (минимальный угол поворота трассы ВЛ), то, полагая, что угол $AB'B \approx 90^\circ$, получаем $\alpha \approx 120^\circ - 90^\circ \approx 30^\circ$ и $\frac{\gamma + \alpha}{2} \geq 30^\circ$.

Значит при $\cos \alpha_{\min} = \cos 30^\circ = 0,87$ разность Δh примет максимальное значение

$$\Delta h_{\max} = \frac{0,87 \cdot h_1 \cdot \lambda'}{\rho'}. \quad (8)$$

Легко понять, что при $\beta_2 \rightarrow 180^\circ$, $\frac{\gamma + \alpha}{2} \rightarrow 90^\circ$ и по малости величин h_1 и λ в (7) разность $\Delta h \rightarrow 0$.

Вынос ВЛ в натуру выполняется с помощью теодолитов точностью $30''$, в связи с этим поправки μ_1 , μ_2 достаточно знать с ошибкой $\Delta \mu$ до $0',5$. Отсюда, пользуясь формулой (9), можно рассчитать, с какой погрешностью Δh достаточно измерять h_2 ,

$$\Delta h = \frac{\Delta \mu' \cdot S_2}{\rho'}. \quad (9)$$

Теперь выведем формулу для расчета максимально допустимого отклонения h_1 от оси трассы. Для этого приравняем правые части равенства (7) и (9)

$$h_1 = \frac{\Delta \mu \cdot S_2}{\lambda \cdot \cos \frac{(\gamma + \alpha)}{2}}. \quad (10)$$

Здесь λ — суммарная поправка, выражение для которой с учетом формул (4), (5) и при допущении $h_2' \approx h_2$ имеет вид

$$\lambda = \mu_1 + \mu_2 = \frac{h_1 \rho'}{S_1} + \frac{h_2 \rho'}{S_2}. \quad (11)$$

Допуская, что $\gamma \approx \beta_2 - 90^\circ$, находим выражение для h_2

$$h_2 = h_1 \cdot \sin(\beta - 90^\circ), \quad (11a)$$

и, подставляя (11a) в (11), получаем выражение для λ :

$$\lambda = \frac{h_1 \cdot \rho}{S_1} + \frac{h_1 \cdot \sin(\beta - 90^\circ)}{S_2} = \frac{h_1 \cdot \rho \cdot [S_2 + S_1 \cdot \cos \beta_2]}{S_1 \cdot S_2}. \quad (12)$$

Допуская, что $\gamma \approx \alpha = \beta_2 - 90^\circ$, и с учетом (12) найдем по (10) выражение для расчета максимального значения отклонения h_1 :

$$h_{1 \max} = \sqrt{\frac{\Delta \mu \cdot S_2^2 \cdot S_1}{\rho \cdot [S_2 + S_1 \cdot \cos \beta_2] \cdot \sin \beta_2}}. \quad (13)$$

Сделаем расчет $h_{1 \max}$ для наиболее неблагоприятного случая, когда $\beta_2 = 120^\circ$; $S_1 = S_2 = 500$ м (случаи $S < 500$ м в практике редки) $\Delta\mu = 0,5$,

$$h_{1 \max} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 250 \cdot 10^3 \cdot 500}{3438 \cdot (500 + 500 \cdot 0,5) \cdot 0,5 \cdot \sqrt{3}}} = \pm 5,3 \text{ м.}$$

Очевидно, что величина $h_{1 \max}$ будет расти с увеличением сторон S_1 , S_2 и угла β_2 . Уже при $S_1 = S_2 = 2000$ м и $\beta_2 = 150^\circ$ $h_{1 \max} = 22$ м. Таких больших отклонений, как правило, не наблюдается.

Автор рекомендует рассчитывать предельные величины $h_{1 \max}$, пользуясь табл. 1, составленной по аргументам S_1 и S_2 для разных значений углов β_2 .

Т а б л и ц а 1

Величины $h_{1 \max}$, м

$S_1, \text{ км}$	$S_2, \text{ км}$								
	0,5	1,0	2,0	5,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0
	$\beta_2 = 120^\circ 00'$				$\beta_2 = 160^\circ 00'$			$\beta_2 = 175^\circ 00'$	
0,5	5,3	8,2	12,2	20,0	7,4	12,0	18,6	14,5	23,6
1,0	6,5	10,5	16,3	27,6	8,6	14,8	24,1	16,7	28,9
2,0	7,5	12,9	21,1	37,3	9,5	17,2	29,7	18,2	33,3
5,0	8,3	15,5	27,2	52,8	10,1	19,4	35,8	19,5	36,9
10,0	8,7	16,7	30,0	65,4	10,2	20,3	38,7	19,8	38,9
	$\beta_2 = 140^\circ 00'$				$\beta_2 = 170^\circ 00'$			$\beta_2 = 179^\circ 00'$	
0,5	5,7	9,0	13,4	23,0	10,2	16,8	25,8	32,2	52,7
1,0	6,6	11,3	18,1	31,4	11,9	20,7	33,5	37,3	64,6
2,0	7,5	13,4	22,6	41,7	13,0	23,8	41,1	40,9	74,6
5,0	8,1	15,3	27,9	56,6	13,9	26,6	49,4	43,5	83,3
10,0	8,3	16,2	30,6	91,7	14,3	27,9	53,3	44,5	87,1

На основании рис. 3 найдем разность отрезков $\Delta S' - \Delta S$ для неблагоприятного случая ($\beta_2 = 120^\circ$; $S_1 = S_2 = 500$ м; $h_1 = 5,3$ м; $\lambda = 52'$; $\gamma = 30^\circ 17'$; $\alpha = 29^\circ 25'$)

$$\Delta S' - \Delta S = h_1 \cos \alpha - h_1 \cos \gamma = 5,3 \cdot 0,871 - 5,3 \cdot 0,864 = 0,037 \text{ м.}$$

Эта величина дает относительную погрешность 1 : 12500 длины S_2' при требуемой точности линейных измерений 1 : 2000. Таким образом, ею можно пренебречь и распределять в длины пролетов только погрешность ΔS .

Окончательно выражения для исправленных углов будем иметь, подставив значения μ_1 и λ из (4) и (11) в (1) и (2)

$$\left. \begin{aligned} \beta_2' &= \beta_2 - \lambda = \beta_2 - E_1 h_1 - E_2 h_2; \\ \beta_3' &= \beta_3 + \mu_2 = \beta_3 + E_2 h_2, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где $E_1 = \rho : S_1$ и $E_2 = \rho : S_2$ выбираются из табл. 2 по аргументу S . Для получения коэффициента E при $S > 5000$ м следует брать табличное значение E при $0,5 S$ и делить результат на 2.

Выражения (14) являются рабочими формулами для случая левых углов поворота трассы и правого отклонения от ее оси или для правых углов поворота трассы и левого отклонения. Для случая левых углов поворота и левого отклонения или правых углов поворота и правого отклонения имеем

$$\left. \begin{aligned} \beta_2' &= \beta_2 + \lambda = \beta_2 + E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2; \\ \beta_3' &= \beta_3 - \mu_2 = \beta_3 - E_2 h_2. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Коэффициенты E

Таблица 2

$S, м$	E	$S, м$	E	$S, м$	E	$S, м$	E	$S, м$	E
500	6,88	1000	3,44	1500	2,29	2000	1,72	3000	1,15
525	6,55	1025	3,35	1525	2,25	2050	1,68	3100	1,11
550	6,25	1050	3,27	1550	2,22	2100	1,64	3200	1,07
575	5,98	1075	3,20	1575	2,18	2150	1,60	3300	1,04
600	5,73	1100	3,13	1600	2,15	2200	1,56	3400	1,01
625	5,50	1125	3,06	1625	2,12	2250	1,53	3500	0,98
650	5,29	1150	2,99	1650	2,08	2300	1,50	3600	0,96
675	5,09	1175	2,92	1675	2,05	2350	1,46	3700	0,93
700	4,91	1200	2,86	1700	2,02	2400	1,43	3800	0,90
725	4,74	1225	2,81	1725	1,99	2450	1,40	3900	0,88
750	4,58	1250	2,75	1750	1,96	2500	1,38	4000	0,86
775	4,44	1275	2,70	1775	1,94	2550	1,35	4100	0,84
800	4,30	1300	2,64	1800	1,91	2600	1,32	4200	0,82
825	4,17	1325	2,60	1825	1,88	2650	1,30	4300	0,80
850	4,04	1350	2,55	1850	1,86	2700	1,27	4400	0,78
875	3,93	1375	2,50	1875	1,83	2750	1,25	4500	0,76
900	3,82	1400	2,46	1900	1,81	2800	1,23	4600	0,75
925	3,72	1425	2,41	1925	1,78	2850	1,21	4700	0,73
950	3,62	1450	2,37	1950	1,76	2900	1,18	4800	0,72
975	3,53	1475	2,33	1975	1,74	2950	1,16	4900	0,70

Формулы (14) и (15) позволяют вычислять исправленные углы β_2' и β_3' в полевых условиях достаточно быстро, за пять—десять минут.

Пример вычислений по предложенным формулам. При перенесении проекта ВЛ в натуру точка B сместилась в положение B (см. рис. 1). Углы поворота ВЛ левые, отклонение от оси линии влево. Три необходимые условия выдерживаются.

Исходные данные:

$$S_1 = 2250 \text{ м}; S_2 = 1938 \text{ м}; \beta_2 = 140^\circ 10'; \beta_3 = 203^\circ 37'.$$

Измеренные величины:

$$h_1 = 5,1 \text{ м}; h_2 = 4,1 \text{ м}; \Delta S = 2,9 \text{ м}.$$

По табл. 1 находим $h_{1\max} = 22 \text{ м}$. Так как $h_1 = 5,1 \text{ м}$, то условие $h_1 < h_{1\max}$ выполняется.

По аргументам S_1, S_2 из табл. 2 определяем $E_1 = 1',53$ и $E_2 = 1',77$. Подставляя $\beta_2, \beta_3, h_1, h_2, E_1, E_2$ выражения (14), получаем

$$\beta_2' = \beta_2 - E_1 \cdot h_1 - E_2 \cdot h_2 = 140^\circ 10' - 1',5 \cdot 5,1 - 1',8 \cdot 4,1 = 139^\circ 55',$$

$$\beta_3' = \beta_3 + E_2 \cdot h_2 = 203^\circ 37' + 1',8 \cdot 4,1 = 203^\circ 44'.$$

Откладываем в точке B' угол $\beta_2' = 139^\circ 55'$ и делаем разбивку трассы на участке $B'C$, затем в точке C откладываем угол $\beta_3' = 203^\circ 44'$ и выводим трассу ВЛ на заданное направление. Невязку $\Delta S = 2,9 \text{ м}$ распределяем на один или два пролета участка $B'C$.

Если отклонение пунктов от оси трассы ВЛ не удовлетворяет требованиям выше, следует определить поправку μ_1 по формуле (4), ввести ее в угол поворота β_1 и повторить разбивку от точки A .

В геодезической литературе известен ряд способов учета отклонения пунктов от намеченного положения. Большинство из них сводится к поиску створа заданной линии при невидимости между ее конечными точками (например, способы В. Д. Большакова [1] и В. И. Шишкина [3]). Эти способы громоздки и применимы лишь тогда, когда трасса должна обязательно проходить по заданному направлению. Способы

бом определения поправок μ_1 и μ_2 при внецентренном положении инструмента [2] трудно воспользоваться из-за частой невидимости между пунктами B и C (см. рис. 1), и он уступает предложенному методу в скорости вычисления величины поправок.

Наш способ учета отклонения трассы ВЛ от намеченного направления ограничивает проведение повторных геодезических работ при выносе проекта ВЛ в натуру.

Формулы (14) и (15) и табл. 1 и 2 просты и удобны для работы в полевых условиях.

Практическое применение предложенного метода дало хорошие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. Д. Способ отыскания створа при разбивке местоположения промежуточных опор линий электропередачи. — «Электрические станции», 1956, № 10.
2. Шилов П. И. Геодезия. М., Геодезиздат, 1956.
3. Шишкин В. И. Постройка геодезических знаков. М., Геодезиздат, 1961.

Работа поступила в редколлегию 29 октября 1971 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского ордена Ленина политехнического института.