

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СЪЕМКИ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

Розглянута комбінація існуючих методів знімання кривих і надані рекомендації щодо зрівнювання результатів вимірювань.

Рассмотрена комбинация существующих методов съемки кривых и даны рекомендации по уравниванию результатов измерений.

The combination of existing methods of surveying curves has been considered and recommendations on leveling-off the results of measurements have been given.

Возрастающие требования к точности содержания пути требуют в первую очередь повышения точности получения информации о положении пути в плане [1].

При повышении точности съемки плана железнодорожной линии возникает проблема выбора способа съемки.

Традиционные способы съемки (стрел, Гоникберга) позволяют получить достаточно точное взаимное положение близко расположенных точек пути, но дают большую погрешность [2] в определении планового положения участка в целом за счет накопления ошибки со скоростью арифметической прогрессии. Особенно опасным становится применение метода стрел для анализа длинных участков с мелким шагом съемки (путеизмерительные машины, путеизмерители).

Модифицированный способ съемки [3] за счет внутреннего уравнивания частично снимает проблему неточности метода стрел, но тоже не может считаться идеальным решением данной проблемы.

Полярный способ съемки плана позволяет получить достаточно точное положение всего участка в целом, но оценка кривизны для близко расположенных точек может давать существенную погрешность. Кроме того, реальная точность полярной съемки отдельных точек пути, как правило, находится в пределах 10...20 мм, что явно недостаточно для оценки сдвигов, которые могут быть близкими по своему значению к этой погрешности.

Единственным выходом, позволяющим повысить точность информации о положении пути в плане, является использование комбинации полярного способа с традиционными или модифицированным. В этом случае сплошная

съемка делается традиционными способами, а отдельные точки, кроме того, снимаются полярным способом.

В результате получается избыточная информация и это дает право использовать для поиска координат точек пути методы уравнивания измерений. Корректировка рассчитанных координат осуществляется по вектору ΔX :

$$\Delta X = (B^T K_{\ell\ell}^{-1} B)^{-1} B^T K_{\ell\ell}^{-1} \Delta \ell,$$

где $\Delta \ell$ – изменение вектора измеренных величин; ΔX – вектор определяемых координат; B – матрица производных $\partial \ell / \partial x$; $K_{\ell\ell}$ – дисперсионная матрица измеренных величин; B^T – транспонированная матрица производных.

В вектор измеренных величин включаются последовательно все данные съемки. Для способа стрел и модифицированного это стрелы в точках пути, расстояния между точками, известные координаты отдельных точек пути. Для метода Гоникберга в вектор добавляются данные о снятых углах поворота.

По откорректированным координатам рассчитываются уравненные значения измеренных величин. Анализ этих значений позволяет оценить точность съемки в отдельных точках и принять решение о необходимости повторной съемки отдельных точек.

Данная методика реализована в составе программы RWPlan 1.2 и прошла апробацию при съемке нечетного пути на участке Игрень-Илларионово Приднепровской железной дороги. В качестве примера приведены результаты уравнивания для модифицированного способа на одной кривой. В табл. 1 приведены результаты уравнивания для стрел и длин, а в табл. 2 – для координат отдельных точек кривой.

Таблица 1

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
1	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	5,000	5,003	5,003
2	0,2	-0,2	-0,5	0,5	1,0	0,5	5,003	5,003	5,003
3	-0,3	-0,7	-0,2	0,5	1,0	0,0	5,003	5,003	5,003
4	-0,8	-0,8	-1,0	0,0	1,0	0,0	5,003	5,003	5,001
5	-0,3	-0,9	-0,2	0,0	0,5	1,5	5,003	5,001	5,001
6	-0,8	-0,3	-0,4	0,0	1,5	1,0	5,001	5,001	5,001
7	-0,3	-1,0	-1,4	0,0	0,5	0,5	5,001	5,001	5,001
8	-0,3	-0,2	1,5	0,5	1,0	2,0	5,001	5,001	5,001
9	-0,1	1,6	-0,1	0,5	2,5	1,0	5,001	5,001	5,003
10	2,3	1,2	1,9	2,5	2,5	2,5	5,001	5,003	5,003
11	0,3	2,3	1,7	1,0	3,0	2,0	5,003	5,003	5,003
12	0,9	-0,8	-3,6	1,0	0,0	0,0	5,003	5,003	5,003
13	1,2	1,2	7,8	1,0	0,0	8,0	5,003	5,003	5,003
14	2,0	10,5	4,6	1,0	10,5	4,5	5,003	5,003	4,998
15	11,2	8,1	6,2	11,0	8,5	6,5	5,003	4,998	4,998
16	2,5	6,2	5,6	2,0	6,0	5,5	4,998	4,998	4,998
17	7,6	10,8	9,1	7,0	11,0	9,0	4,998	4,998	4,998
18	9,3	13,7	10,7	9,0	13,0	10,0	4,998	4,998	4,998
19	11,7	15,9	12,4	11,0	15,0	12,0	4,998	4,998	5,001
20	12,7	17,6	13,6	11,5	16,5	12,5	4,998	5,001	5,001
21	14,9	20,8	17,1	16,0	21,5	13,5	5,001	5,001	5,001
22	16,6	23,4	17,0	16,0	24,5	16,5	5,001	5,001	5,001
23	20,4	27,3	23,8	21,0	26,0	22,0	5,001	5,001	5,001
24	21,3	32,1	22,7	20,0	33,0	22,0	5,001	5,001	5,000
25	26,7	33,1	26,3	25,0	32,5	26,0	5,001	5,000	5,000
26	24,0	34,8	26,0	24,0	34,0	25,5	5,000	5,000	5,000
27	28,3	37,1	28,6	28,5	37,0	28,5	5,000	5,000	5,000
28	30,3	43,4	36,3	30,0	42,5	35,0	5,000	5,000	5,000
29	36,0	52,0	38,6	36,0	51,0	38,0	5,000	5,000	5,001
30	39,7	50,2	35,3	39,0	50,0	35,0	5,000	5,001	5,001
31	38,0	50,7	42,9	38,0	50,5	42,0	5,001	5,001	5,001
32	38,6	56,8	39,9	39,0	56,5	40,0	5,001	5,001	5,001
33	45,1	55,0	41,9	46,0	54,5	41,0	5,001	5,001	5,001
34	39,2	55,4	42,8	39,0	55,0	42,5	5,001	5,001	5,000
35	44,4	59,9	45,3	44,0	60,0	45,0	5,001	5,000	5,000
36	44,8	59,5	43,5	45,0	59,5	43,5	5,000	5,000	5,000
37	43,7	56,7	42,2	44,0	56,5	42,0	5,000	5,000	5,000
38	41,9	56,3	43,1	42,0	56,5	42,5	5,000	5,000	5,000
39	45,1	62,6	50,3	45,0	62,0	50,0	5,000	5,000	5,000
40	47,9	66,0	46,1	47,0	66,0	46,0	5,000	5,000	5,000

Продолжение табл. 1

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
41	49,7	61,4	46,8	50,0	61,5	46,5	5,000	5,000	5,000
42	43,0	59,8	44,2	43,0	59,5	44,0	5,000	5,000	5,000
43	46,9	61,6	47,5	47,0	61,5	47,5	5,000	5,000	5,000
44	46,5	64,4	48,7	46,0	64,0	48,0	5,000	5,000	5,000
45	49,1	64,8	47,5	48,0	64,0	47,0	5,000	5,000	5,000
46	47,1	61,2	45,2	46,0	60,0	44,0	5,000	5,000	5,000
47	44,9	59,7	45,2	45,0	59,0	46,0	5,000	5,000	5,000
48	45,6	62,0	47,6	44,5	60,5	48,5	5,000	5,000	5,000
49	46,7	62,6	45,3	46,0	59,0	44,5	5,000	5,000	5,000
50	45,3	57,3	41,3	46,5	56,0	40,0	5,000	5,000	5,000
51	42,0	55,9	44,6	43,0	56,0	45,0	5,000	5,000	5,000
52	41,3	57,3	40,1	40,0	56,5	40,0	5,000	5,000	5,000
53	44,6	55,9	44,4	44,5	55,5	44,0	5,000	5,000	5,000
54	40,0	57,1	41,3	40,5	57,0	41,0	5,000	5,000	5,000
55	45,8	58,8	46,2	45,0	58,0	45,5	5,000	5,000	5,000
56	41,7	57,9	40,5	42,0	58,0	40,5	5,000	5,000	5,000
57	43,7	53,8	40,8	43,0	53,0	41,0	5,000	5,000	5,000
58	40,6	58,1	47,8	39,0	58,0	46,0	5,000	5,000	5,000
59	47,2	66,6	48,5	46,0	65,0	48,0	5,000	5,000	5,000
60	51,5	65,5	49,0	50,0	64,5	48,0	5,000	5,000	5,000
61	46,3	62,2	45,4	46,5	62,0	45,0	5,000	5,000	5,000
62	48,3	64,0	51,1	48,0	64,0	51,5	5,000	5,000	5,000
63	48,4	68,1	49,7	48,0	68,0	49,0	5,000	5,000	5,000
64	53,7	69,3	53,6	54,0	69,0	54,0	5,000	5,000	5,000
65	50,4	69,4	50,5	51,0	69,0	51,0	5,000	5,000	5,000
66	52,2	66,6	49,4	51,5	65,5	49,0	5,000	5,000	5,000
67	46,0	60,4	42,8	45,5	60,0	43,0	5,000	5,000	5,000
68	43,0	53,9	39,8	42,0	52,5	38,0	5,000	5,000	5,000
69	38,3	51,5	39,1	37,0	49,0	37,0	5,000	5,000	5,000
70	40,0	54,4	42,2	38,5	53,0	41,5	5,000	5,000	5,000
71	39,9	53,2	36,6	40,0	53,0	35,5	5,000	5,000	5,000
72	38,7	47,4	36,2	37,0	46,5	36,0	5,000	5,000	5,000
73	35,0	50,1	40,2	35,0	50,0	40,0	5,000	5,000	5,000
74	41,7	58,4	44,8	41,0	57,5	45,0	5,000	5,000	5,000
75	43,5	56,6	38,6	43,0	56,0	39,0	5,000	5,000	5,000
76	43,3	55,3	46,8	43,0	54,0	46,0	5,000	5,000	5,000
77	41,2	61,9	44,2	40,0	61,5	44,0	5,000	5,000	5,000
78	48,2	58,0	41,3	47,0	56,5	39,0	5,000	5,000	5,000
79	38,4	50,2	37,4	37,0	47,5	36,0	5,000	5,000	5,000
80	36,0	47,3	34,0	34,0	46,0	33,0	5,000	5,000	5,000
81	33,5	42,4	30,6	33,0	42,0	30,0	5,000	5,000	5,000

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
82	29,2	37,7	27,5	28,5	37,0	27,0	5,000	5,000	5,000
83	26,1	33,4	23,5	26,0	33,5	23,5	5,000	5,000	5,000
84	23,3	29,4	21,9	23,5	29,0	22,0	5,000	5,000	5,000
85	21,4	29,3	22,8	21,0	30,0	22,5	5,000	5,000	5,000
86	21,8	29,2	20,3	21,5	29,0	20,0	5,000	5,000	5,000
87	20,2	24,0	16,5	20,0	24,0	17,0	5,000	5,000	5,000
88	16,1	20,8	16,5	15,5	20,0	15,0	5,000	5,000	5,000
89	14,6	20,2	13,5	14,0	18,5	13,0	5,000	5,000	5,000
90	13,6	14,9	9,4	13,0	14,0	8,5	5,000	5,000	5,000
91	10,0	13,1	12,3	10,0	12,5	12,0	5,000	5,000	5,000
92	8,3	12,6	5,5	8,0	12,5	5,5	5,000	5,000	5,000
93	10,1	8,6	8,9	9,5	8,0	8,0	5,000	5,000	5,000
94	4,5	10,7	7,8	4,5	10,0	8,0	5,000	5,000	5,001
95	9,1	9,0	4,0	8,5	9,0	3,5	5,000	5,001	5,001
96	3,7	2,5	2,2	4,0	2,5	1,5	5,001	5,001	5,001
97	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	5,001	5,001	5,001

Таблица 2

№ точки	Уравненные координаты		Измеренные координаты		ΔX , мм	ΔY , мм
	X	Y	X	Y		
190	6644,868	2978,326	6644,868	2978,326	0	0
195	6628,617	2997,339	6628,617	2997,343	-0	4
200	6612,375	3016,350	6612,377	3016,348	2	-2
205	6596,124	3035,366	6596,120	3035,373	-4	7
210	6579,828	3054,313	6579,833	3054,312	5	-1
215	6563,379	3073,143	6563,376	3073,141	-3	-2
220	6546,648	3091,720	6546,650	3091,721	2	1
225	6529,486	3109,901	6529,483	3109,900	-3	-1
230	6511,821	3127,590	6511,822	3127,590	1	-0
236	6489,925	3148,098	6489,926	3148,100	1	2
240	6474,907	3161,307	6474,909	3161,309	2	2
245	6455,699	3177,311	6455,688	3177,299	-11	-12
250	6436,046	3192,759	6436,052	3192,764	5	4
260	6395,319	3221,751	6395,321	3221,753	2	2
270	6352,983	3248,346	6352,985	3248,350	1	3
280	6309,442	3272,925	6309,442	3272,927	-0	2
285	6287,462	3284,831	6287,463	3284,829	1	-2
290	6265,426	3296,644	6265,424	3296,643	-2	-1

Для уменьшения объема полевых работ целесообразно определить на каком расстоянии следует брать координаты отдельных точек.

Координаты точек пути при съемке методом стрел могут определяться следующим образом:

$$X_{i+1} = X_i + a \cdot \cos \sum_{j=1}^i \alpha_j;$$

$$Y_{i+1} = Y_i + a \cdot \sin \sum_{j=1}^i \alpha_j,$$

где a – шаг разбивки, м; α – угол поворота участка разбивки.

На данном этапе можно считать значения косинусов близкими к единице и независимыми от точности съемки стрел, а значения углов поворота приблизительно принять равными

$$\frac{2f_j}{a},$$

где f_j – стрела прогиба в соответствующей точке. Если принять все стрелы равными, то получим, что при погрешности измерения одной стрелы Δf погрешность определения координаты Y в точке n будет равна

$$\Delta Y_n = 2 \cdot \Delta f (1 + 2 + \dots + n).$$

Поскольку в скобках мы получаем арифметическую прогрессию, то можно записать

$$\Delta Y_n = \Delta f \cdot n \cdot (1 + n).$$

Пользуясь этим соотношением, можно определить количество точек, при котором погрешности определения координаты будут существенно влиять на погрешности стрел в

процессе уравнивания. Например, для погрешности координат 10 мм и погрешности стрел 0,5 мм получаем $n = 4$, т. е. координаты следует брать не чаще, чем на каждой пятой точке. В противном случае погрешности координат могут существенно исказить картину кривизны точек пути. Для погрешностей соответственно 20 и 0,5 мм получаем $n = 6$. Для гарантированного устранения влияния координат на взаимную кривизну соседних точек можно давать координаты только каждой десятой точки.

Выводы

Достаточная точность съемки плана железнодорожного пути может быть обеспечена только при комбинации полярного и традиционных способов съемки.

Информация, полученная в ходе съемки, обязательно должна уравниваться.

Для получения разумного компромисса между точностью и трудоемкостью достаточно снимать полярным методом каждую десятую точку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач // Вісник наук. пр. ДПТ, – 2003, – Вип. 2. – С. 174–177.
2. Корженевич И. П. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник наук. пр. ДПТ, – 2006. – Вип. 11, – С. 44–50.
3. Корженевич И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых // Вісник наук. пр. ДПТ, – 2006. – Вип. 12, – С. 45–49.
4. Корженевич И. П. Исследование точности полярного способа съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник наук. пр. ДПТ, – 2006. – Вип. 13, – С. 53–57.

Поступила в редколлегию 25.06.2005.