

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА УЧАСТКАХ ЧУЙСКОГО ТРАКТА 880-893, 931-942 КМ

Б. Ф. Азаров

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассмотрены вопросы математической обработки результатов приведения данных сканирования в единую систему координат – так называемой регистрации сканерных станций (точек стояния прибора) для двух участков Чуйского тракта – 880-893, 931-942 км. По результатам регистрации сканерных станций из обратной линейно-угловой засечки, оценка параметров закона их распределения методом Фишера, оценка с помощью доверительных интервалов и получены числовые характеристики статистических рядов, позволяющие судить о точности регистрации.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, сканерная станция, обратная линейно-угловая засечка, закон распределения, доверительный интервал, метод Фишера.

При выполнении инженерно-геодезических изысканий в целях обеспечения капитального ремонта участков федеральной трассы Р-256 «Чуйский тракт» в последнее время заказчиком работ выдвигается требование использовать технологию наземного лазерного сканирования для получения топографического плана трассы масштаба 1:1000 и представлять его результаты с достаточной точностью. Практически под «точностью» сканирования в данном случае подразумеваются ошибки определения положения точек лазерных отражений относительно точек съемочного обоснования, которое создается для производства топографической съемки.

В данной статье рассматривается вопрос статистической обработки результатов приведения данных сканирования в заданную систему координат с помощью программы ScanMaster, используемой для обработки результатов сканирования, полученных наземным лазерным сканером GLS-1500 фирмы TOPCON на конкретных участках Чуйского тракта общей длиной 24 км.

При выполнении наземного лазерного сканирования с помощью сканера GLS-1500 в процессе работ по инженерно-геодезическим изысканиям имеет место несколько вариантов геодезической привязки результатов сканирования. Практически это означает, что необходимо выполнить «регистрацию» – приведение данных сканирования в единую сис-

тему координат [1]. При проведении работ по наземному лазерному сканированию на участках Чуйского тракта 880-893, 931-942 км использовался вариант регистрации данных сканирования [2], когда на сканерной станции (месте установки прибора) выполнялось сканирование двух специальных марок, установленных на точках съемочного обоснования с известными координатами и отметками в заданной технической задачей на производство инженерно-геодезических изысканий системе координат и высот. Выбор такого варианта регистрации был обусловлен условиями проведения работ, когда плотность пунктов съемочного обоснования доводилась до требуемой параллельно производству работ по сканированию.

Регистрация данных осуществлялась с помощью программы ScanMaster для обработки результатов сканирования прибором GLS-1500. После создания в программе проекта в него с SD-карты сканера загружались результаты и экспортировался файл координат точек съемочного обоснования, на которых во время сканирования участка автодороги устанавливались и сканировались специальные марки. При этом отметки точек съемочного обоснования увеличивались на высоту марки, измеренной на точке ее установки. Затем на каждой станции по сканам марок создавались две узловые точки. Далее с использованием функции «Засечка» программы ScanMaster выполнялась регистра-

ция сканов, полученных на станции. Если регистрация проходила успешно, то в программе автоматически выводились данные об ошибках регистрации по координатным осям (рисунок 1). Фактически эти ошибки являются разностями координат по соответствующим осям между вычисленными средствами программы ScanMaster координатами марок с их заданными значениями, полученными из математической обработки съемочного обоснования. Согласно теории ошибок измерений, эти разности можно рассматривать в качестве истинных ошибок «измерений» координат.

Практический интерес представляет закон распределения этих ошибок, оценка параметров этого закона и числовые характеристики точности их получения. Ниже приведены результаты обработки статистических рядов такого рода ошибок по отдельным участкам Чуйского тракта: 1 участок – 880-893 км, в обработку были взяты результаты регистрации 73 сканерных станций; 2 участок –

931-942 км, в обработку были взяты результаты регистрации 67 сканерных станций. При этом решались следующие классические задачи теории ошибок наблюдений [3]:

- 1) определение закона распределения (выравнивание статистических рядов);
- 2) оценка параметров распределения методом Фишера (максимального правдоподобия);
- 3) построение доверительных интервалов и выявление систематических ошибок;
- 4) обработка ряда равноточных измерений.

Все расчеты выполнялись для ошибок, полученных по трем координатным осям. Разности координат между вычисленными координатами марок и их заданными значениями по соответствующим осям для каждого участка представлены в таблицах 1 и 2. Результаты обработки статистических рядов ошибок по первому и второму участкам представлены соответственно в таблицах 3-8.

Название	Ошибка - E	Ошибка - N	Ошибка - H
TAR2№	-0,020	0,009	-0,004
TAR-3#	0,020	-0,009	0,004
Ошибка СКД	0,020	0,009	0,004
Ошибка макс.	-0,020	0,009	-0,004

Рисунок 1 – Ошибки регистрации по координатным осям

Таблица 1 – Разности координат по осям X, Y, H для участка 880-893 км

№ станции	Разности координат по осям			№ станции	Разности координат по осям			№ станции	Разности координат по осям		
	X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм
1	27	29	37	26	-4	12	3	51	-22	-2	-6
2	27	25	18	27	-6	12	3	52	-22	-3	-6
3	26	23	14	28	-6	12	2	53	-22	-8	-6
4	26	23	13	29	-6	12	2	54	-22	-8	-7
5	25	22	12	30	-6	12	2	55	-22	-9	-7
6	22	21	12	31	-6	12	2	56	-23	-9	-8
7	22	21	12	32	-9	11	1	57	-23	-10	-8
8	21	20	12	33	-11	11	1	58	-23	-10	-8
9	21	19	10	34	-16	11	0	59	-23	-10	-9
10	21	19	10	35	-17	10	0	60	-23	-11	-9
11	20	18	8	36	-17	10	0	61	-23	-11	-9
12	19	18	7	37	-18	9	0	62	-24	-12	-9
13	16	17	7	38	-18	9	-1	63	-24	-12	-9
14	16	17	7	39	-19	8	-1	64	-25	-13	-11
15	16	17	7	40	-20	8	-1	65	-25	-14	-12
16	15	16	6	41	-20	2	-1	66	-25	-14	-12
17	14	16	6	42	-20	2	-3	67	-25	-16	-13
18	10	16	6	43	-20	1	-4	68	-26	-17	-13
19	9	16	6	44	-20	1	-4	69	-28	-19	-14
20	7	14	6	45	-21	1	-4	70	-28	-20	-16
21	6	14	5	46	-21	0	-5	71	-30	-21	-17
22	6	13	4	47	-21	0	-5	72	-30	-21	-19
23	0	13	4	48	-22	0	-5	73	-51	-22	-26
24	0	13	4	49	-22	-1	-5				
25	0	12	3	50	-22	-1	-6				

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ
НА УЧАСТКАХ ЧУЙСКОГО ТРАКТА 880-893, 931-942 КМ

Таблица 2 – Разности координат по осям X,Y,H для участка 931-942 км

№ станции	Разности координат по осям			№ станции	Разности координат по осям			№ станции	Разности координат по осям		
	X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм
1	24	20	26	24	-8	8	5	47	-13	2	-1
2	21	15	24	25	-8	7	5	48	-14	-2	-1
3	16	13	20	26	-9	7	5	49	-14	-4	-1
4	15	13	18	27	-9	7	4	50	-14	-4	-2
5	14	12	15	28	-9	7	4	51	-15	-4	-2
6	14	11	14	29	-10	7	4	52	-15	-4	-3
7	13	11	14	30	-10	6	4	53	-15	-5	-4
8	12	11	11	31	-10	6	4	54	-16	-6	-6
9	12	10	11	32	-11	6	3	55	-16	-7	-6
10	11	10	11	33	-11	5	3	56	-16	-8	-7
11	7	10	10	34	-11	5	3	57	-17	-8	-8
12	3	10	10	35	-12	5	3	58	-18	-9	-8
13	3	10	9	36	-12	5	3	59	-18	-9	-8
14	-3	10	8	37	-12	5	2	60	-19	-9	-12
15	-3	9	8	38	-12	5	1	61	-23	-9	-13
16	-6	9	8	39	-12	4	1	62	-23	-10	-15
17	-6	9	8	40	-12	4	1	63	-24	-10	-15
18	-6	9	7	41	-13	4	1	64	-25	-13	-16
19	-6	9	6	42	-13	4	0	65	-27	-17	-16
20	-7	9	6	43	-13	4	0	66	-28	-19	-23
21	-7	8	6	44	-13	4	0	67	-29	-19	-42
22	-7	8	6	45	-13	2	-1				
23	-7	8	5	46	-13	2	-1				

Таблица 3 – Обработка статистических рядов ошибок по участку 880-893 км

Характеристика	Обозначение	Численное значение			Характеристика	Обозначение	Численное значение		
		по X	по Y	по H			по X	по Y	по H
среднее арифметическое	a	-8	4	-1	число степеней свободы	n	10	8	14
СКО сред. арифмет.	m	21	14	10	критерий Пирсона	χ^2	35,3	29,4	7,96
вероятная ошибка	r	18	12	6	вероятность χ^2	p	0	0	0,89
$K_1 = m / r$	K_1	1,7	1,17	1,67	асимметрия	S_k	0,48	-0,43	0,25
средняя ошибка	ϑ	19	12	8	дисперсия асимметрии	D_{SK}	0,08	0,08	0,08
$K_2 = m / \vartheta$	K_2	1,1	1,17	1,25	эксцесс	E	-3,33	-2,82	0,50
длина интервала	0,5m	11	7	5	дисперсия эксцесса	D_E	0,33	0,33	0,33

Таблица 4 – Расчет критерия Фишера по участку 880-893 км

Характеристика	Обозначение	Численное значение, мм		
		по X	по Y	по H
среднее арифметическое	x_{cp}	-8	4	-0,7
условие	[v]	-0,27	-0,12	4,1
сумма квадратов	[v ²]	26197	13252	6887
минимальное x	x_{min}	-51	-22	-26
сумма квадратов отклонений	[ε^2]	161088	64278	53821

Таблица 5 – Построение доверительных интервалов и проверка на систематические ошибки по участку 880-893 км

Характеристика	Символ	Численное значение, мм			Доверительные интервалы		
		по X	по Y	по H	по X	по Y	по H
доверит. вероятность	β	0,95	0,95	0,95	для истинного значения $-12 \leq \Delta \leq -4$	для истинного значения $0 \leq \Delta \leq 8$	для истинного значения $-3 \leq \Delta \leq 1$
среднее арифметическое	x_{cp}	-8	4	-1	для нормальной выборки $18,1 \leq \sigma \leq 25,2$	для нормальной выборки $12,0 \leq \sigma \leq 16,8$	для нормальной выборки $8,6 \leq \sigma \leq 11,98$
объем выборки	n	73	73	73			
коэфф-т Стьюдента	t_{β}	1,995	1,995	1,995	для среднего арифметического $1,72 \leq \sigma_{xcp} \leq 2,40$	для среднего арифметического $1,7 \leq \sigma_{xcp} \leq 2,4$	для среднего арифметического $0,86 \leq \sigma_{xcp} \leq 1,12$
СКО	m	21	14	10			
СКО x_{cp}	m_x	2	2	1	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = -585$ $\Sigma \Delta = 1369$	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = 324$ $\Sigma \Delta = 912$	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = -47$ $\Sigma \Delta = 551$
коэффициент 1	γ_1	0,858	0,858	0,858			
коэффициент 2	γ_2	1,198	1,198	1,198	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $-585 \geq 401$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $324 \geq 267$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $-47 \leq 161$

Таблица 6 – Обработка статистических рядов ошибок по участку 931-942 км

Характеристика	Обозначение	Численное значение			Характеристика	Обозначение	Численное значение		
		по X	по Y	по H			по X	по Y	по H
среднее арифметическое	a	-8	3	2	число степеней свободы	n	8	8	14
СКО сред. арифмет.	m	14	9	11	критерий Пирсона	χ^2	48,4	35,4	16,4
вероятная ошибка	r	13	8	6	вероятность χ^2	p	0	0	0,31
$K_1 = m / r$	K_1	1,08	1,13	1,83	асимметрия	S_k	0,96	-0,81	-0,75
средняя ошибка	ϑ	13	9	8	дисперсия асимметрии	D_{SK}	0,09	0,09	0,09
$K_2 = m / \vartheta$	K_2	1,08	1,00	1,38	эксцесс	E	-8,95	-2,12	0,66
длина интервала	0,5m	7	5	6	дисперсия эксцесса	D_E	0,36	0,36	0,36

Таблица 7 – Расчет критерия Фишера по участку 931-942 км

Характеристика	Обозначение	Численное значение, мм		
		по X	по Y	по H
среднее арифметическое	x_{cp}	-8	3	1,6
условие	[v]	0,06	0,06	0,14
сумма квадратов	[v ²]	9434	4900	7670
минимальное x	x_{min}	-29	-19	-42
сумма квадратов отклонений	[ε^2]	32418	33895	123758

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ
НА УЧАСТКАХ ЧУЙСКОГО ТРАКТА 880-893, 931-942 КМ

Таблица 8 – Построение доверительных интервалов и проверка на систематические ошибки по участку 931-942 км

Характеристика	Символ	Численное значение, мм			Доверительные интервалы		
		по X	по Y	по H	по X	по Y	по H
доверит. вероятность	β	0,95	0,95	0,95	для истинного значения $-12 \leq \Delta \leq -4$	для истинного значения $1 \leq \Delta \leq 5$	для истинного значения $0 \leq \Delta \leq 4$
среднее арифметическое	$x_{ср}$	-8	3	2	для нормальной выборки $12,0 \leq \sigma \leq 16,8$	для нормальной выборки $7,7 \leq \sigma \leq 10,8$	для нормальной выборки $9,4 \leq \sigma \leq 13,2$
объем выборки	n	67	67	67			
коэфф-т Стьюдента	t_{β}	1,995	1,995	1,995	для среднего арифметического $1,72 \leq \sigma_{ср} \leq 2,40$	для среднего арифметического $0,86 \leq \sigma_{ср} \leq 1,20$	для среднего арифметического $0,86 \leq \sigma_{ср} \leq 1,20$
СКО	m	14	9	11			
СКО $x_{ср}$	m_x	2	1	1	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = -548$ $\Sigma \Delta = 878$	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = 189$ $\Sigma \Delta = 541$	на систем. ошибки: $\Sigma \Delta = 106$ $\Sigma \Delta = 528$
коэффициент 1	γ_1	0,858	0,858	0,858			
коэффициент 2	γ_2	1,198	1,198	1,198	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $-548 \geq 268$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $189 \geq 165$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $106 \leq 161$

Выводы:

1) На основании критерия Пирсона гипотеза о нормальном распределении ошибок по координатным осям X и Y для 1^{го} и 2^{го} участков признана несостоятельной; гипотезу о том, что для 1^{го} и 2^{го} участков ошибки по оси H подчинены нормальному закону, на основании критерия Пирсона можно считать правдоподобной.

2) Как для 1^{го}, так и для 2^{го} участков параметры закона распределения могут быть получены по методу максимального правдоподобия.

3) Для обоих участков в ошибках по осям X и Y имеется систематическая составляющая, а по оси H систематическая ошибка отсутствует.

4) По 1^{му} участку СКО разностей между вычисленными и заданными значениями координат составили 21, 14 и 10 мм по осям X, Y и H соответственно: по 2^{му} участку СКО

разностей соответственно составили 14, 9 и 11 мм по осям X, Y и H.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, Б. Ф. Использование наземного лазерного сканирования для обследования состояния берегов Красноярского водохранилища / Б. Ф. Азаров, Е. А. Федорова // Геопрофи. – 2014. – № 1. – С. 46-52.
2. Руководство пользователя ScanMaster. – Торсон Corp., 2010.
3. Большаков, В. Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе. – М., Недра, 1984.

Азаров Б.Ф. – к.т.н., доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru.