

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА УЧАСТКЕ ЧУЙСКОГО ТРАКТА 625-631 КМ

И. В. Карелина, Г. И. Мурадова

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

В статье рассматривается математическая обработка результатов приведения данных сканирования в единую систему координат – так называемой регистрации сканерных станций (точек стояния прибора) для участка Чуйского тракта – 625-631 км. По результатам регистрации сканерных станций по схеме «станция – ориентирный пункт» выполнено выравнивание статистических рядов ошибок регистрации, 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, ориентирный пункт, закон распределения, доверительный интервал, метод Фишера.

В последнее время при выполнении инженерно-геодезических изысканий в целях обеспечения ремонта участков федеральной автодороги Р-256 «Чуйский тракт» заказчик работ выдвигает требование - использовать наземное лазерное сканирование для выполнения топографической съемки автодороги в масштабе 1:1000 и представлять его результаты с достаточной точностью. Под «точностью» результатов сканирования подразумеваются ошибки определения положения точек лазерных отражений относительно точек съемочного обоснования, которое создается для выполнения топографической съемки. В данной статье рассмотрены вопросы 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 участке Чуйского тракта протяженностью 6 км.

В случае использования наземного лазерного сканера GLS-1500 для топографической съемки при проведении работ по инженерно-геодезическим изысканиям возможны несколько вариантов геодезической привязки результатов сканирования. При выполнении сканирования каждый скан (результат сканирования) представляет собой массив точек с пространственными прямоугольными координатами, определенными в системе координат самого прибора. При создании каждого скана

измерения выполняются в отдельной локальной системе координат. Поэтому необходим процесс так называемой «регистрации» – приведения данных сканирования в единую систему координат [1].

При выполнении работ по наземному лазерному сканированию на участке Чуйского тракта 625-631 км использовался следующий вариант регистрации данных сканирования [2]. Прибор устанавливался на одной из точек съемочного обоснования, центрировался и приводился в рабочее положение. На смежной точке съемочного обоснования устанавливалась специальная марка и выполнялось ее сканирование по схеме «станция – ОРП» [1]. Так как съемочное обоснование для производства топографической съемки создавалось заранее, то координаты точки стояния прибора (сканерной станции) и точки, на которой устанавливалась марка, были известны и они вводились в прибор с табло. Непосредственно процесс регистрации данных осуществлялся в постобработке измерений с помощью программы для обработки результатов сканирования прибором GLS-1500 ScanMaster. После создания проекта, куда с SD-карты прибора загружались данные сканирования, в него экспортировался файл координат точек съемочного обоснования, на которых в процессе сканирования участка автодороги устанавливался прибор, а также устанавливались и сканировались специальные марки. При этом отметки точек съемочного

обоснования увеличивались на высоту марки, измеренной на точке ее установки. Затем осуществлялась регистрация результатов сканирования (сканов) на станции с использованием функции «Регистрация» программы ScanMaster по схеме «Точка стояния и ориентирования» (рисунок 1). После регистрации данных сканирования на станции в программе ScanMaster предусмотрена возможность просмотра сведений об ошибках положения точки ориентирования по координатным осям (рисунок 2). Фактически ошибки точки ориентирования являются разностями координат по соответствующим осям между вычисленными средствами программы ScanMaster координатами специальной марки с их заданными значениями, полученными из уравнивания съемочного обоснования, т.е. с теми, которые были введены на станции с табло прибора. С точки зрения теории ошибок измерений эти разности можно рассматривать как истинные ошибки «измерений» координат.

Определенный интерес представляет закон распределения этих ошибок, оценка параметров этого закона и числовые харак-

теристики точности их получения. Ниже приведены результаты обработки статистических рядов такого рода ошибок по участку Чуйского тракта 625-631 км. На данном участке в обработку были взяты результаты регистрации 32 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 задачи решались для ошибок, полученным по трем координатным осям. Разности координат между вычисленными координатами марок с их заданными значениями по соответствующим осям для участка 625-631 км представлены в таблице 1. Результаты обработки статистических рядов ошибок по данному участку представлены соответственно в таблицах 2-4.

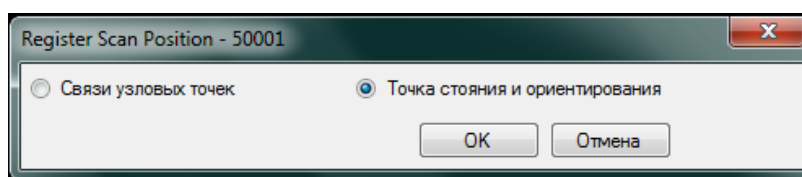


Рисунок 1 – Регистрация данных сканирования по схеме «станция - ОРП»

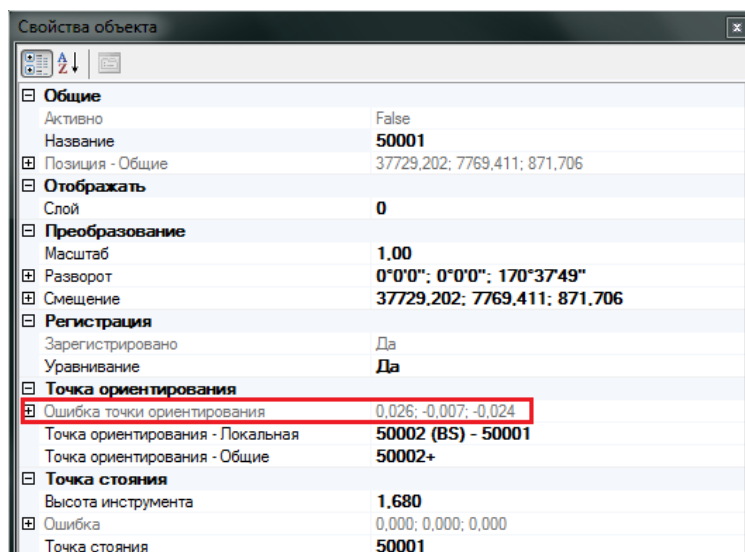


Рисунок 2 – Ошибки положения точки ориентирования по координатным осям

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА УЧАСТКЕ
ЧУЙСКОГО ТРАКТА 625-631 КМ

Таблица 1 – Разности координат по осям X,Y,H для участка 625-631 км

№ п.п.	разности по осям координат			№ п.п.	разности по осям координат			№ п.п.	разности по осям координат		
	X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм		X, мм	Y, мм	H, мм
1	-5	10	-17	12	2	-9	-22	23	9	-4	-1
2	15	-17	-40	13	10	-20	17	24	11	-15	-4
3	-6	7	6	14	2	-5	-31	25	-1	23	-6
4	17	-16	-65	15	11	-19	-41	26	-1	6	14
5	5	-8	-24	16	0	0	0	27	0	18	-8
6	6	-8	-55	17	6	-14	16	28	-1	3	24
7	5	-11	15	18	2	-6	15	29	-3	15	5
8	2	-7	37	19	9	-24	6	30	-12	14	-6
9	8	-20	22	20	7	-18	-39	31	1	-1	6
10	2	-13	26	21	0	0	-11	32	1	0	-2
11	5	-14	-44	22	2	-8	21				

Таблица 2 – Обработка статистических рядов ошибок по участку 625-631 км

Характеристика	Обо- значе- ние	Численное значение			Характеристика	Обо- значе- ние	Численное значение		
		по X	по Y	по H			по X	по Y	по H
среднее арифмет.	a	3	-5	-6	число степеней свободы	n	8	6	10
СКО средн. арифм.	m	7	13	26	критерий Пирсона	χ^2	9,84	9,98	13,0 0
вероятная ошибка	r	5	10	16	вероятность χ^2	p	0,26	0,12	0,22
$K_1 = m / r$	K_1	1,4	1,3	1,63	асимметрия	S_k	-0,38	0,61	-0,40
средняя ошибка	ϑ	5	11	20	дисперсия асимметрии	D_{SK}	0,19	0,19	0,19
$K_2 = m / \vartheta$	K_2	1,4	1,1 8	1,30	эксцесс	E	-7,82	-2,80	-1,56
длина интервала	0,5m	4	7	13	дисперсия эксцесса	D_E	0,75	0,75	0,75

Таблица 3 – Расчет критерия Фишера по участку 625-631 км

Характеристика	Обозначение	Численные значения, мм		
		по X	по Y	по H
среднее арифметическое	x_{cp}	3,41	-5,03	-5,81
условие	$[v]$	-0,12	-0,04	-0,08
сумма квадратов	$[v^2]$	1150	4571	20365
минимальное x	x_{min}	-12	-24	-65
сумма квадратов отклонений	$[\epsilon^2]$	8745	16085	132466

Таблица 4 – Построение доверительных интервалов и проверка на систематические ошибки по участку 625-631 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 $1 \leq \Delta \leq 5$	для истинного значения $-9 \leq \Delta \leq -1$	для истинного значения $-16 \leq \Delta \leq 4$
среднее арифмет.	$x_{\text{ср}}$	3	-5	-6	для нормальной выборки $5,6 \leq \sigma \leq 9,4$	для нормальной выборки $10,4 \leq \sigma \leq 17,4$	для нормальной выборки $20,8 \leq \sigma \leq 34,8$
объем выборки	n	32	32	32			
коэфф-т Стьюдента	t_{β}	2,042	2,042	2,042	для среднего арифметического $0,8 \leq \sigma_{\text{хср}} \leq 1,34$	для среднего арифметического $1,6 \leq \sigma_{\text{хср}} \leq 2,68$	для среднего арифметического $4,0 \leq \sigma_{\text{хср}} \leq 6,7$
СКО	m	7	13	26			
СКО $x_{\text{ср}}$	m_x	1	2	5	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = 109$ $\Sigma \Delta = 167$	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = -161$ $\Sigma \Delta = 353$	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = -186$ $\Sigma \Delta = 646$
коэффициент 1	γ_1	0,8	0,8	0,8			
коэффициент 2	γ_2	1,34	1,34	1,34	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ 109 \geq 74$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ -161 \geq 156$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ -186 \leq 285$

Выводы:

1) На основании критерия Пирсона гипотезу о нормальном распределении ошибок разностей координат по всем трем координатным осям для данного участка можно считать правдоподобной.

2) Для данного участка параметры закона распределения ошибок разностей координат могут быть получены по методу максимального правдоподобия.

3) Для данного участка имеются систематические ошибки в разностях координат по осям X,Y; по оси H систематические ошибки отсутствуют.

4) По данному участку СКО разностей между вычисленными и заданными значениями координат марок, по которым осуществлялась привязка сканерных станций, составили 7, 13 и 26 мм по осям X, Y и H соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, Б. Ф. Использование лазерного сканера GLS-1500 Торсон для проведения инженерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 6-9.

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.

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

Мурадова Г.И. – доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru.