

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО РЕМОНТУ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Б. Ф. Азаров, И. В. Карелина

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 автодороги «Алейск-Родио-Кулунда-граница Республики Казахстан». По результатам регистрации сканерных станций по схеме «Засечка» выполнено выравнивание статистических рядов ошибок регистрации, оценка параметров закона их распределения методом Фишера, оценка путем построения доверительных интервалов, а также получены числовые характеристики статистических рядов, позволяющие сделать выводы о точности регистрации.

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

В июле-сентябре 2016 г. сотрудниками кафедры ОФИГиГ по договору с КГКУ «Алтайавтдор» были выполнены работы по наземному лазерному сканированию 2 км автодороги «Алейск-Родио-Кулунда-граница Республики Казахстан». Целью работы было показать возможность использования технологии наземного лазерного сканирования для практического применения при строительстве, капитальном ремонте, реконструкции сети автодорог Алтайского края.

Технология наземного лазерного сканирования позволяет по результатам сканирования построить цифровую модель дорожного полотна с заданной плотностью как до выполнения ремонтных работ, так и во время их проведения, а также по их окончании. По цифровой модели может быть выполнен расчет объема поверхности, образующей дорожное полотно.

Работы по сканированию исследуемого участка автодороги «Алейск-Родио-Кулунда-граница Республики Казахстан» проводились с 28 июля по 28 сентября 2016 г. Сканирование выполнялось наземным лазерным сканером GLS-1500 TOPCON. Для создания 3D-моделей дорожного полотна исследуемого участка автодороги было выполнено наземное лазерное сканирование на разных стадиях ремонтных работ. Во-первых, исходного его состояния до производства ремонта дорожного полотна, во-вторых, сканирование после укладки выравнивающего слоя (на ограниченном по длине участке) и в-третьих, сканирование верхнего («финишного») слоя

дорожного покрытия после окончания ремонтных работ.

Как показывает опыт [1, 2], методика сканирования существенно зависит от типа объекта и условий, в которых выполняются работы по сканированию. Основными факторами, повлиявшими на выбор конкретной методики сканирования на исследуемом участке автодороги для создания 3D-модели дорожного полотна в первоначальном состоянии, послужили, во-первых, отсутствие геодезической разбивочной основы в пределах участка работ и во-вторых, ограниченное время на производство собственно сканирования. Исходя из этого, на начальном этапе работы по созданию съемочного обоснования и сканированию дорожного полотна проводились параллельно. Практически сначала закреплялись точки съемочного обоснования на обеих обочинах автодороги в шахматном порядке (примерно через 200 м на каждой обочине). Затем между парой смежных точек устанавливался сканер, и выполнялись действия на станции по сканированию. При этом в данных условиях наиболее рациональным по затратам времени и точности способом выполнения сканирования марок для последующей регистрации сканов в процессе обработки данных сканирования служил вариант геодезической привязки сканов методом обратной линейно-угловой засечки по двум точкам съемочного обоснования. В этом случае достаточно было иметь «задел» из двух-трех закрепленных на местности точек съемочного

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО РЕМОНТУ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

обоснования, чтобы устанавливать на них штативы со специальными марками.

Сканирование исходного состояния дорожного полотна осуществлялось 28 июля 2016 г. с 10 стоянок прибора. Сканер устанавливался на обочине дороги примерно посередине между смежными точками съемочного обоснования. На этих точках устанавливались и центрировались штативы, на которых устанавливались специальные марки. Последовательность действий на каждой сканерной станции была следующей. После установки сканера на штатив и его включения автоматически выполнялся прогрев прибора. Затем на первой станции задавались параметры, относящиеся к настройкам инструмента, и создавался так называемый «проект» для выполнения измерений. После настроек проекта и ввода названия станции, задавались параметры, относящиеся к сеансу сканирования. Так как был выбран вариант привязки сканов из обратной засечки, первоначально на станции сканировались две марки, установленные на смежных точках съемочного обоснования. После сканирования марок на станции выполнялось 3D-сканирование объекта.

Повторное сканирование исследуемого участка автодороги выполнялось 6 сентября текущего года после того, как на ее первом километровом отрезке были закончены работы по укладке верхнего слоя дорожного полотна, а на втором километровом отрезке частично проводилась укладка верхнего слоя дорожного полотна на половине проезжей части (на участке длиной около 320 м) поверх выравнивающего слоя.

Сканирование проводилось с 12 станций по той же технологической схеме, что и при первоначальном сканировании. Разница была лишь в том, что на большинстве станций (на 9 из 12) взаимное расположение марок было несколько иным, чем при сканировании исходного состояния дорожного полотна. Если при первоначальном сканировании на 9 станциях из 10 сканер располагался на обочине, противоположной той, на которой были установлены специальные марки над точками съемочного обоснования (при этом сканер находился примерно посередине между марками), то при повторном сканировании на большинстве станций марки располагались по обеим обочинам дороги, причем одна из них находилась вблизи прибора (в 15-25 м).

Сканирование верхнего слоя дорожного полотна на всем исследуемом участке осуществлялось 28 сентября текущего года с 14

стоянок прибора. При этом использовался вариант геодезической привязки сканов методом обратной линейно-угловой засечки по двум точкам съемочного обоснования. Для этого на каждой сканерной станции осуществлялось сканирование двух марок, установленных на точках съемочного обоснования. Для того чтобы повысить информативность сканирования и учитывая плохую отражающую способность свежеложенного асфальта (0,06-0,08) [3], на исследуемом участке на большинстве станций сканер устанавливался примерно посередине между смежными марками, т.е. на расстоянии около 100 м от них. При этом для 8 станций сканировались марки, расположенные по обе стороны дорожного полотна, а для 6 – марки, расположенные на одной стороне. В последнем случае сканер располагался на той же обочине, где и сканируемые марки. Последовательность действий на каждой точке стояния прибора была такой же, что и при первоначальном сканировании.

Регистрация данных сканирования осуществлялась с помощью программы для обработки результатов сканирования прибором GLS-1500 TOPCON ScanMaster с использованием функции «Регистрация» и вкладки «Засечка». После регистрации данных сканирования на станции в данной программе имеется возможность просмотра данных об ошибках положения точки ориентирования по координатным осям. 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. С точки зрения теории ошибок измерений эти разности можно рассматривать как истинные ошибки «измерений» координат.

Закон распределения этих ошибок, оценка параметров закона распределения и числовые характеристики точности их получения представляют определенный интерес. Ниже приведены результаты обработки статистических рядов ошибок по данным трехкратного сканирования исследуемого участка автодороги. На данном участке в обработку были взяты результаты регистрации 36 сканерных станций. При этом решались следующие классические задачи теории ошибок наблюдений [4, 5]:

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. Разно-

сти координат между вычисленными координатами марок с их заданными значениями по соответствующим осям для исследуемого участка автодороги представлены в таблице 1. Результаты обработки статистических рядов ошибок по данному участку представлены соответственно в таблицах 2, 3 и 4.

Таблица 1 – Разности координат по осям X, Y, H для исследуемого участка автодороги

измерения 28.07.2016 г.					измерения 06.09.2016 г.					измерения 28.09.2016 г.				
№ п.п.	№ станции	разности по осям координат			№ п.п.	№ станции	разности по осям координат			№ п.п.	№ станции	разности по осям координат		
		X, мм	Y, мм	H, мм			X, мм	Y, мм	H, мм			X, мм	Y, мм	H, мм
1	1	-4	-8	1	11	1	10	3	0	23	1	1	1	1
2	2	-1	2	-2	12	2	-2	-2	3	24	2	2	1	-12
3	3	2	3	-7	13	3	7	-6	-5	25	3	1	1	-5
4	4	5	-7	1	14	4	4	2	-6	26	4	5	2	-4
5	5	0	0	-8	15	5	1	0	-5	27	5	-9	-6	-8
6	6	-3	4	-6	16	6	-2	-2	4	28	6	0	0	6
7	7	4	5	0	17	7	0	0	-11	29	7	-1	-1	-11
8	8	0	1	2	18	8	-3	3	-4	30	8	-2	2	-4
9	9	-2	2	0	19	9	5	2	1	31	9	-1	1	-9
10	10	3	4	-2	20	10	9	6	9	32	10	1	-1	6
					21	11	-6	4	5	33	11	1	-1	-5
					22	12	-6	-4	6	34	12	3	-2	-10
										35	13	-8	4	-5
										36	14	7	2	-9

Таблица 2 – Обработка статистических рядов ошибок по исследуемому участку автодороги

Характеристика	Обозначение	Численное значение			Характеристика	Обозначение	Численное значение		
		по X	по Y	по H			по X	по Y	по H
среднее арифмет.	a	1	0	-3	число степеней свободы	n	10	8	8
СКО средн. арифм.	m	4	3	6	критерий Пирсона	χ^2	6,29	13,11	15,64
вероятная ошибка	r	2	2	5	вероятность χ^2	p	0,82	0,11	0,04
$K_1 = m / r$	K_1	2,0	1,5	1,2	асимметрия	S_k	-0,17	-0,99	0,13
средняя ошибка	ϑ	3	3	5	дисперсия асимметрии	D_{Sk}	0,17	0,17	0,17
$K_2 = m / \vartheta$	K_2	1,33	1,00	1,20	эксцесс	E	-0,95	-0,40	-3,69
длина интервала	0,5m	2	2	3	дисперсия эксцесса	D_E	0,67	0,67	0,67

Таблица 3 – Расчет критерия Фишера по исследуемому участку автодороги

Характеристика	Обозначение	Численное значение, мм		
		по X	по Y	по H
среднее арифметическое	$X_{ср}$	0,58	0,42	-2,58
условие	$[v]$	0,12	-0,12	-0,12
сумма квадратов	$[v^2]$	675	395	1085
минимальное x	X_{min}	-9	-8	-12
сумма квадратов отклонений	$[e^2]$	3981	2945	4277

**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМОВ РАБОТ ПО РЕМОНТУ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА**

Таблица 4 – Построение доверительных интервалов и проверка на систематические ошибки по исследуемому участку автодороги

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 $-1 \leq \Delta \leq 3$	для истинного значения $-2 \leq \Delta \leq 2$	для истинного значения $-5 \leq \Delta \leq -1$
среднее арифмет.	x_{cp}	0,60	0,41	-2,60	для нормальной выборки $3,3 \leq \sigma \leq 5,1$	для нормальной выборки $2,5 \leq \sigma \leq 3,8$	для нормальной выборки $4,9 \leq \sigma \leq 7,7$
объем выборки	n	36	36	36			
коэфф-т Стьюдента	t_{β}	2	2	2	для среднего арифметического $0,82 \leq \sigma_{xcp} \leq 1,28$	для среднего арифметического $0,80 \leq \sigma_{xcp} \leq 1,30$	для среднего арифметического $0,80 \leq \sigma_{xcp} \leq 1,30$
СКО	m	4	3	6			
СКО x_{cp}	m_x	1	1	1	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = 21$ $\Sigma \Delta = 121$	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = 15$ $\Sigma \Delta = 95$	на сист. ошибки: $\Sigma \Delta = -93$ $\Sigma \Delta = 183$
Коэффициент 1	γ_1	0,821	0,821	0,821			
Коэффициент 2	γ_2	1,279	1,279	1,279	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ 21 \geq 50$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ 15 \geq 40$	условие $ \Delta_i \leq 2,5 \frac{ \Delta_i }{\sqrt{n}}$ $ -93 \leq 76$

Выводы:

1) На основании критерия Пирсона гипотезу о нормальном распределении ошибок разностей координат по осям X и Y для данного участка можно считать правдоподобной; гипотеза о нормальном распределении ошибок по координатной оси H признана несостоятельной.

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 оси H; по осям X и Y систематические ошибки отсутствуют.

4) По данному участку СКО разностей между вычисленными и заданными значениями координат марок, по которым осуществлялась привязка сканерных станций, составили 4, 3 и 6 мм по осям X, Y и H соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, Б. Ф. Использование лазерного сканера GLS 1500 Topcon для проведения инже-

нерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 6-9.

2. Азаров, Б. Ф. К вопросу о методике контроля точности регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий автодорог / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2016. – № 4. – С. 125-128.

3. Электронный ресурс: https://vk.com/wall9813678_5738?reply=5750.

4. Большаков, В. Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе. – М., Недра, 1984. – 345 с.

5. Карелина, И. В. Статистическая обработка результатов регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий на участке Чуйского тракта 698-703+250, 706-718 км / И. В. Карелина // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 96-100.

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.

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.