

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ АВТОДОРОГ

Б.Ф. Азаров

В статье рассматривается методика контроля точности пространственного положения прибора при выполнении крупномасштабной топографической съемки наземным лазерным сканером GLS-1500. Рассмотрены различные варианты технологии сканирования автодорог и их особенности. Указаны факторы, которые влияют на выбор той или иной схемы привязки сканерных станций. Приведены данные, характеризующие точность приведения результатов сканирования на станции в заданную систему координат с помощью программы ScanMaster. В заключение сделаны выводы относительно выбора технологии производства работ при топографической съемке линейных объектов.

Ключевые слова: методика контроля точности, наземное лазерное сканирование, сканерная станция, сканер GLS-1500, программа ScanMaster, автомобильная дорога.

В настоящее время наземное лазерное сканирование достаточно широко используется при выполнении инженерно-геодезических изысканий. В частности, при разработке проектной документации на ремонт автомобильных дорог Р-256 и А-322 техническое задание заказчика содержит пункт, предусматривающий при выполнении инженерно-геодезических изысканий проведение топографической съемки масштаба 1:1000 с использованием наземного лазерного сканирования. При этом к результатам сканирования предъявляются следующие требования, определяющие точность производства геодезических работ: 1) лазерное сканирование должно быть выполнено в увязке с планово-высотным съемочным обоснованием; 2) относительная точность (точность относительно элемента съемочного обоснования) результатов лазерного сканирования должна составлять не более 10 мм по высоте; 3) абсолютная точность (точность относительно Балтийской системы высот) не более 50 мм по высоте; 4) плотность точек лазерных отражений не менее 50 точек на м² в пределах бровок земляного полотна и не менее 20 точек на м² в пределах откосов насыпей/выемок; 5) топографическая съемка должна быть выполнена в местной системе координат (МСК-региона) и Балтийской системе высот 1977 г.

Выполнение первого и последнего из приведенных требований требует предварительного создания и закрепления на объекте работ съемочного обоснования. Как правило, обоснование создается с использованием спутниковых приемников и электронных тахеометров, а также геометрического нивели-

рования. Точность таких работ должна соответствовать нормативным требованиям [1]. Выполнение требования 4 обеспечивается на стадии камеральной обработки результатов сканирования, поскольку практически плотность сканирования многократно перекрывает этот показатель (в десятки и даже сотни раз). Определение относительной и абсолютной точности высотного положения результатов лазерного сканирования (условия 2 и 3) является нетривиальной задачей и требует специальных исследований.

В данной статье рассматривается вопрос методики контроля точности пространственного положения сканера на станции (по сути – точности внешнего ориентирования сканера [2]) относительно пунктов съемочного обоснования, использовавшихся при выполнении топографической съемки наземным лазерным сканером GLS-1500. Особенностью данного сканера является возможность приведения данных сканирования, полученных на разных станциях (точках стояния прибора), в заданную систему координат разными способами, или выполнения так называемой «регистрации» результатов сканирования [3]. На практике, при выполнении сканирования автодорог, когда съемочное обоснование создается в виде тахеометрических ходов, закрепленных на местности через 200-400 м, и время на производство работ ограничено, актуален вопрос выбора оптимального по точности и временным затратам способа регистрации станций сканирования. Опишем различные варианты технологии сканирования автодорог на примере Чуйского тракта (трассы федерального значения М-52 или Р-256).

1. Съемочное обоснование создано и закреплено заранее, до выполнения сканирования. Координаты пунктов съемочного обоснования известны, а их плотность соответствует рекомендациям [4]. В этом случае возможно использование регистрации данных сканирования как по координатам точки стояния прибора и точки обратного ориентирования (ори-

ентирного пункта - ОРП), когда прибор и специальная марка последовательно устанавливаются на смежных точках съемочного обоснования (рис.1 а), так и по координатам двух смежных точек съемочного обоснования, когда прибор находится между ними, а на них установлены специальные марки (рис.1 б).

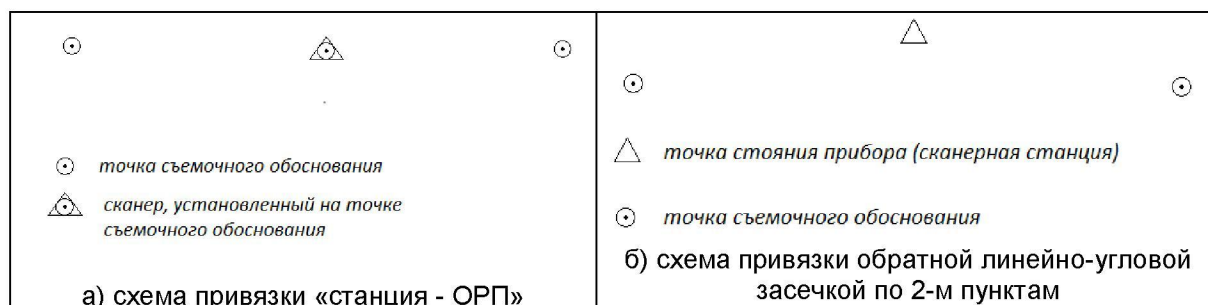


Рисунок 1 – Схемы взаимного положения сканера и пунктов съемочного обоснования

2. Съемочное обоснование создано и закреплено заранее, до выполнения сканирования. Координаты пунктов съемочного обоснования известны, но их плотность не соответствует рекомендациям [4]. В этом случае необходимо сначала довести плотность пунктов съемочного обоснования до рекомендуемой, например, используя полярную засечку, а затем (или одновременно с процессом сгущения съемочного обоснования) выполнить сканирование по схеме, изображенной на рис.1 б.

3. Съемочное обоснование создается и закрепляется одновременно с производством работ по сканированию. Координаты пунктов съемочного обоснования неизвестны, их плотность соответствует рекомендациям [4]. В этом случае сканирование выполняется по схеме, показанной на рис.1 б.

Как первая, так и вторая схемы привязки имеют свои преимущества и недостатки. Если привязка осуществляется по схеме «станция - ОРП», то положительной стороной является, во-первых, то, что на станции необходимо отсканировать только одну специальную марку, установленную на смежной точке съемочного обоснования и, во-вторых, то, что регистрация данных сканирования в ПО ScanMaster осуществляется автоматически. Кроме того, в случае регистрации данных сканирования по схеме «станция - ОРП» имеется возможность корректировать высоту марки, измеренную на точке съемочного обоснования, на которой она устанавливалась (ошибку определения положения марки по высоте можно свести к нулю). При этом на точке съемочного обоснования, где эта марка

установлена, ее высота может измеряться с погрешностью до 1 см. При этом на точность регистрации данных сканирования по высоте будет влиять погрешность измерения высоты прибора на сканерной станции. Погрешность определения положения сканера и, следовательно, данных сканирования, будет определяться, во-первых, точностью создания съемочного обоснования, и, во-вторых, погрешностями центрирования прибора и марки на точках обоснования. Практически измерения напоминают трехштативную систему, применявшуюся в полигонометрии, так как необходимо выполнять расстановку штативов с трегерами и их центрирование. К недостаткам такой схемы привязки можно отнести необходимость вводить на каждой стоянке прибора с табло трехмерные координаты станции и ОРП.

В случае использования для привязки обратной линейно-угловой засечки по двум пунктам положительным моментом является то, что место стоянки прибора не фиксируется на местности и выбирается достаточно произвольно, т.е. нет ограничения на угол при засечке и на расстояния от прибора до точек съемочного обоснования. Единственное ограничение связано с конфигурацией засечки – следует избегать расположения прибора вблизи перпендикуляра к стороне съемочного обоснования, на концах которой устанавливаются специальные марки [5]. Практически имеем «двухштативную» систему измерений, когда на смежных точках съемочного обоснования центрируется два штатива с марками, либо устанавливаются вехи с биподами. К отрицательным моментам следует отнести необходимость сканирования

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ СКАНЕРНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ АВТОДОРОГ

двух марок на станции и то, что перед сканированием марок приходится вводить с табло прибора высоты марок, установленных на смежных точках съемочного обоснования. При этом на точность привязки результатов сканирования по высоте будет оказывать влияние погрешность измерения высоты марок.

Время, затрачиваемое на производство работ по сканированию автодорог, в основном определяется шириной полосы, подлежащей съемке, особенностями рельефа и видом растительности, попадающей в область сканирования. В случае невысокой и редкой травяной растительности (высотой до 20 см) в пределах полосы съемки возможно выполнение сканирования «вкруговую». При наличии высокой густой травы или сплошных кустарников и деревьев в полосе, подлежащей съемке, целесообразно выполнять сканирование секторами по 150-230°, обязательно включая при этом в область сканирования дорожное полотно и обочины. Отметим, что в этом случае для выполнения полноценной топографической съемки придется кроме сканирования использовать электронную тахеометрию для съемки «проблемных» участков, которые не могут быть полностью отсканированы из-за особенностей рельефа и ситуации местности (например, залесенные участки и участки густой растительности, места расположения водопропускных труб, насыпи большой высоты и т.п.).

Выбор той или иной схемы привязки сканерных станций зависит, во-первых, от того, заранее ли создавалось съемочное обоснование или же в процессе производства работ по сканированию и во-вторых, от плотности пунктов съемочного обоснования. Кроме того, на выбор того или иного способа привязки влияют требования к точности результатов сканирования. Как уже отмечалось выше, основные требования относятся к точности результатов лазерного сканирования по высоте. Так, относительно точек съемочного обоснования погрешность данных сканирования должна составлять не более 10 мм по высоте. Ниже приведены данные, характеризующие точность приведения результатов сканирования на станции в заданную систему координат (так называемой «регистрации» сканерных станций) с помощью программы ScanMaster, используемой для обработки результатов сканирования, полученных наземным лазерным сканером GLS-1500 при сканировании нескольких участков федеральной автодороги М-52 или Р-256 «Чуйский тракт». При этом рассмотрены как случай регистрации по схеме «станция -

ОРП», или с помощью вкладки «Точка стояния и ориентирования» программы ScanMaster [6] (таблица 1), так и случай регистрации из обратной линейно-угловой засечки по двум пунктам, или с помощью вкладки «Засечка» программы ScanMaster (таблица 2). В обоих случаях оценка выполнялась по разностям координат по соответствующим осям между вычисленными средствами программы ScanMaster координатами марок, которые были отсканированы на точке стояния прибора, с их заданными значениями, полученными из уравнивания съемочного обоснования. В таблицах 1 и 2 приведены средние квадратические ошибки (СКО) разностей между вычисленными и заданными значениями координат марок, а также их средние арифметические значения по отдельным участкам и для разных схем привязки (регистрации) данных сканирования. Следует отметить, что в разностях координат по осям X,Y для участков 625-631, 880-893, 931-942 км, присутствуют систематические ошибки. Для этих же участков в разностях координат по оси Н систематические ошибки отсутствуют [7,8]. Для участков 595-608 км и 641-658 км в разностях координат по всем трем осям X,Y,H имеются систематические ошибки. Для участков 698-703 км и 706-718 км систематические ошибки по всем координатным осям отсутствуют [9]. Для случая использования обратной линейно-угловой засечки по двум пунктам, переходя от СКО разностей высот к СКО вычисления отметок марок при регистрации, получим величину $\pm 7+8$ мм. Опыт, полученный при сканировании около 80 км автодороги Р-256, позволяет сделать следующие выводы относительно выбора технологии производства работ при топографической съемке линейных объектов:

- 1) Рассматриваемый в ряде работ [2,10] способ геодезической привязки сканов путем проложения так называемых сканерных ходов слишком трудоемок, так как требует сканирования большого числа марок (связующих и контрольных).
- 2) Альтернативой указанному способу может служить вариант геодезической привязки сканов методом обратной линейно-угловой засечки по двум пунктам. При этом конфигурация засечки может быть выбрана достаточно произвольно, что не скажется на точности определения пространственных координат точки стояния прибора за счет геометрии построения [5].
- 3) Оптимальным состоянием от прибора до пунктов съемочного обоснования при привязке обратной линейно-угловой засечкой

Таблица 1 – Средние значения и СКО разностей координат для схемы привязки «станция - ОРП»

Участок, км	длина, км	число станций, взятых в обработку, n	среднее арифметическое значение разностей по осям, мм			СКО разностей по осям, мм		
			X	Y	H	X	Y	H
595 - 608	13	52	-8	+8	-11	±19	±21	±34
625 - 631	6	32	+3	-5	-6	±7	±13	±26
641 - 658	17	44	-5	+3	-19	±14	±14	±35

Таблица 2 – Средние значения и СКО разностей координат для схемы привязки «засечка»

Участок, км	длина, км	число станций, взятых в обработку, n	среднее арифметическое значение разностей по осям координат, мм			СКО разностей по осям координат, мм		
			X	Y	H	X	Y	H
698 - 703	5	32	-1	+2	-3	±5	±7	±10
706 - 718	13	64	+1	+2	-2	±7	±5	±12
880 - 893	13	73	-8	+4	-1	±21	±14	±10
931 - 942	11	67	-8	+3	+2	±14	±9	±11

является интервал от 75 до 100 м при расположении прибора на обочине дороги на равнинных участках и 100-125 м при расположении сканера на склоне. 4) Для схемы привязки методом обратной линейно-угловой засечки по двум пунктам ошибки положения сканерных станций, полученные по разностям коор-

динат по соответствующим осям между вычисленными средствами ПО ScanMaster координатами марок с их заданными значениями в плане составляют от 5 до 21 мм, по высоте – 10-12 мм. В этом случае ошибки определения положения прибора в плане соответственно составят от 3,5 до 15 мм, по высоте – 7±8 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства, Госстрой России, Москва, 1997. – 42 с.
2. Середович, В.А. Наземное лазерное сканирование. / В.А.Середович, А.В.Комиссаров, Д.В.Комиссаров, Т.А. Широкова – Новосибирск, СГГА, 2009. – 261 с.
3. Азаров, Б.Ф. Использование лазерного сканера GLS 1500 Topcon для проведения инженерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 6-9.
4. Комиссаров, А.В. Обоснование выбора расстояния между сканерными станциями при наземной лазерной съемке / А.В.Комиссаров, Т.А.Широкова, Е.В.Романович // ГЕО-Сибирь-2012: сб. материалов науч. конгр., 10-20 апр. 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – Т. 3. – С. 91 – 95.
5. Баран, П.И. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения / П.И.Баран, В.И.Мицкевич, Ю.В.Полищук и др. – М.: Недра, 1986. – 165 с.
6. Руководство пользователя ScanMaster. – Topcon Corp., 2010.- 144 с.

7. Карелина, И.В. Статистическая обработка результатов регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий на участке Чуйского тракта 625-631 км / И. В.Карелина, Г.И.Мурадова // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 101 - 104.
8. Азаров, Б.Ф. Статистическая обработка результатов регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий на участках Чуйского тракта 880-893, 931-942 км / Б.Ф.Азаров // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 9 - 13.
9. Карелина, И.В. Статистическая обработка результатов регистрации сканерных станций при выполнении инженерно-геодезических изысканий на участках Чуйского тракта 698-703, 706-718 км / И.В.Карелина // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 96 - 100.
10. Морозов, И.В. О топографической съемке крупного масштаба методом наземного лазерного сканирования / И.В. Морозов // Геопрофи, №2, 2016. С. 40 - 45.

Азаров Борис Федотович – к.т.н., зам. зав. кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.r