

УДК 528.4

ОБ ОПЕРАТИВНОЙ ПОВЕРКЕ ТОЧНОСТИ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ

А.А. ЧЕРНЯВЦЕВ,
(ЗАО «Геостройизыскания», Москва),
канд. техн. наук **А.П. ПИГИН**
(СП «Кредо-Диалог», Минск)

Приведено описание методики и технологии исследований возможности оперативной (полевой) поверки и оценки точности измерений лазерных сканеров. Для оценки точности использован аппарат трансформации пространственных прямоугольных координат. Даны практические рекомендации о проведении таких поверок и анализе результатов.

Последнее десятилетие характеризуется революционным развитием технологий сбора и обработки пространственных данных. Тахеометры, GPS и, наконец, лазерные сканеры стремительно вошли в нашу жизнь. Процесс полевого сканирования и последующей обработки результатов измерений наиболее полно вобрал в себя последние достижения компьютерных технологий. Лазерный сканер и персональный компьютер, оснащенный соответственным программным обеспечением, являются неотъемлемыми частями сложного программно-аппаратного комплекса.

Суть процесса наземного лазерного сканирования заключается в определении пространственных координат точек поверхности объекта. В большинстве случаев это реализуется посредством измерения расстояния до всех определяемых точек с помощью лазерного безотражательного импульсного дальномера, причем направление определяется оптико-механической системой сканера. При каждом измерении луч дальномера отклоняется от своего предыдущего положения так, чтобы пройти через узел некой мнимой нормальной сетки, называемой еще сканирующей матрицей. Количество строк и столбцов матрицы может регулироваться. Чем выше плотность точек матрицы, тем выше плотность точек на поверхности объекта. На пути к объекту импульсы лазерного излучения проходят через систему зеркал, которые осуществляют пошаговое отклонение лазерного луча. Наиболее распространенной является конструкция, состоящая из двух подвижных зеркал, одно из которых регулирует вертикальное смещение луча, другое - горизонтальное. Зеркала сканера управляются прецизионными сервомоторами. В конечном итоге они и обеспечивают фиксацию направления луча лазера на снимаемый объект. Зная угол разворота зеркал в момент наблюдения и измеренное расстояние, процессор вычисляет координаты каждой точки [1].

Уникальные возможности, предоставляемые новой технологией, определяют широту областей ее применения. В настоящее время лазерное сканирование является самым оперативным методом получения подробной и достоверной информации об исследуемом объекте. Но если быстроту работы и подробность получаемой информации можно оценить визуально, то точность измерений проконтролировать гораздо сложнее. Дело в том, что существующие методики исследования угловых и линейных точностей классических геодезических приборов в большинстве случаев неприменимы к лазерным сканерам. Безусловно, современные лазерные сканирующие системы снабжены программами самотестирования и диагностики, которые в случае возникновения неисправности тут же выдадут сообщение оператору. Но все-таки, как можно просто проверить, исправно ли работает именно ваш прибор? Соответствуют ли получаемые результаты заявленной точности? Ведь «...реальная точность сканеров, выпущенных малыми сериями, может быть разной для приборов каждой серии и зависит от индивидуальной калибровки и от того, как с этим прибором обращались на практике» [2]. Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим особенности конструкции и технологии измерений, не позволяющие использовать классические методики определения точности, на примере лазерной сканирующей системы Leica HDS2500 (рис. 1).



Рис. 1. Лазерная сканирующая система Leica HDS2500

То, что сразу можно заметить в конструкции прибора - это отсутствие зрительной трубы или какого-либо другого устройства наведения (визира, целика и т.п.). Нет у прибора устройства центрирования, отсутствует уровень, обязательный атрибут практически любого геодезического инструмента. На корпусе прибора нет метки, до которой геодезисты привыкли измерять высоту инструмента. Перечисленные особенности, относящиеся к категории конструктивных, позволяют сделать вывод, что произвести поверку

дальномера сканера на эталонированном базисе нам не удастся, мы просто (как минимум) не сможем отцентрировать прибор. Другая особенность, относящаяся уже к категории технологических, не даст возможности проконтролировать углы. Мало того, что мы не можем отцентрировать прибор, мы не видим самих значений углов. В процессе измерений эти значения нигде не появляются, мы сразу получаем окончательные результаты в виде трехмерных координат точек, согласно описанию процесса собственно углы не измеряются, а скорее откладываются.

Самый простой выход из создавшейся ситуации следующий. Так как результатом работы сканера являются трехмерные координаты точек поверхности объекта, то и сравнивать нужно значения координат неких эталонных точек с теми, что выдает сканер. Но решение является простым лишь на первый взгляд. При таком подходе возникают две проблемы:

1) сканер определяет координаты точек, в определенном смысле случайных. Как «легла» сканирующая матрица на объект, так и определяются точки. То есть тяжело «навести» сканер на определенную точку. Решается эта проблема достаточно просто. Дело в том, что в технологии работ с лазерной сканирующей системой Leica HDS2500 предусматривается использование специальных мишеней (рис. 2). Используются они для связи отдельных сканов в единое облако точек и для перевода результатов работы в нужную систему координат. В процессе работы сканер автоматически распознает эти мишени и определяет координаты их центров;

2) Leica HDS2500 определяет координаты в условной системе самого сканера (рис. 3), причем для каждого скана устанавливается своя система координат. Зафиксировать параметры этих систем почти не возможно (отсутствие системы центрирования, метки высоты прибора и т.д.). Трансформация данных, полученных сканером, в нужную систему происходит по трем точкам с известными координатами.

Эта проблема решается двумя путями. Первый, простой - контролировать длину пространственной линии между двумя точками с известными пространственными координатами. При этом координаты могут быть определены в двух разных системах - система сканера и, например, условная система, в которой работает тахеометр - (на длину линии это не окажет никакого влияния). Второй - используя математический аппарат трансформации пространственных координат, проводить сравнение пространственных координат, получаемых для опорных точек сканером и определенных тахеометром.

Для проверки рассуждений и предположений специалисты ЗАО «Геостройизыскания» провели следующий эксперимент. В помещении на разных высотах и удалении от сканера были размещены и закреплены восемь специальных мишеней (см. рис. 2). Минимальное расстояние от сканера до мишени составило около 17 м, максимальное расстояние - 31 м. Все мишени по горизонту располагались в двадцатиградусном секторе. При проведении эксперимента мы сознательно размещали большое количество мишеней на разном расстоянии от сканера для того, чтобы набрать больше статистических данных.

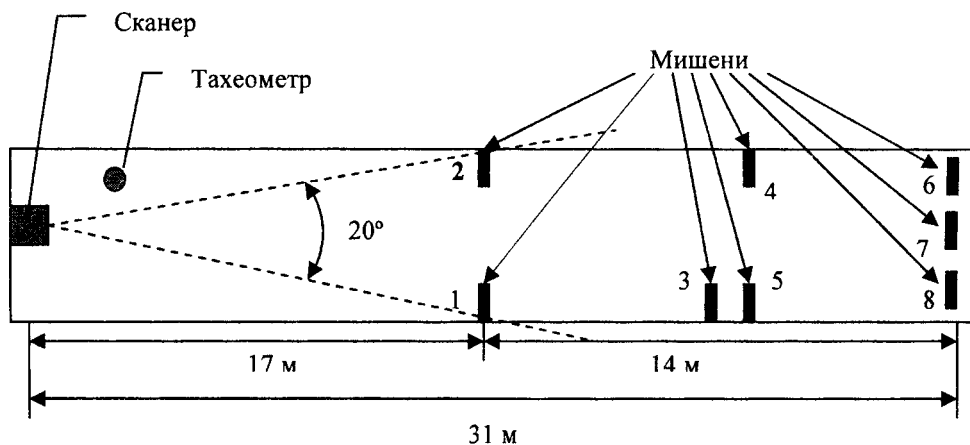


Рис. 2. Размещение специальных мишеней

Для определения координат центров мишеней были произведены линейно-угловые измерения с помощью электронного безотражательного тахеометра Sokkia SET530R. Затем выполнено сканирование таким образом, что все марки вошли в один скан.

Камеральная обработка полученных результатов была проведена в следующем порядке. Измерения, полученные тахеометром, обработали в программе CREDO_DAT, полученные координаты экспор-

тировались в отдельный проект программы Cyclone, где были вычислены длины интересующих нас линий. Данные со сканера обрабатывались также программой Cyclone.

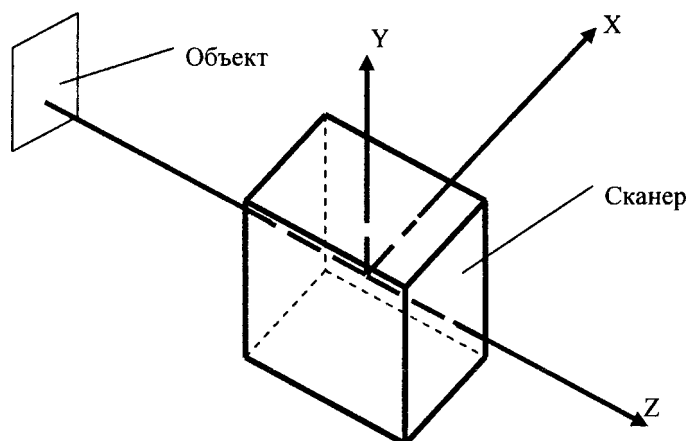


Рис. 3. Условная система сканера

Далее для проверки возможностей оценки результатов анализ данных проведен двумя вариантами.

В первом варианте были получены длины линий между центрами всех мишеней из двух различных измерений. Результаты вычислений и разности длин соответствующих линий, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Линия		Измерения сканером	Измерения тахеометром	Разность
1	2	2,734	2,734	0,000
-	3	5,732	5,733	-0,001
-	4	7,900	7,902	-0,002
-	5	7,640	7,643	-0,003
-	6	14,770	14,773	-0,003
-	7	14,802	14,805	-0,003
-	8	14,640	14,642	-0,002
2	3	5,689	5,689	0,000
-	4	7,117	7,117	0,000
-	5	7,458	7,459	0,001
	6	14,338	14,340	-0,002
	7	14,405	14,408	-0,003
	8	14,511	14,512	-0,001
3	4	2,634	2,635	-0,001
	5	1,924	1,925	-0,001
	6	9,152	9,153	-0,001
	7	9,106	9,109	-0,003
	8	9,132	9,133	-0,001
4	5	1,925	1,925	0,000
	6	7,269	7,270	-0,001
	7	7,313	7,316	-0,003
	8	7,629	7,630	-0,001
5	6	7,412	7,412	0,000
	7	7,276	7,278	-0,002
	8	7,465	7,465	0,000
6	7	1,057	1,055	+0,002
	8	1,676	1,677	-0,001
7	8	2,048	2,048	0,000

Даже поверхностный анализ данных позволяет сделать следующий вывод: полученные по результатам сканирования результаты по точности сопоставимы с аналогичными данными, полученными из измерений тахеометром. Это подтверждают и заявленные производителями характеристики приборов (табл. 2). В квадратных скобках в этой таблице приведены (на основе паспортных данных) линейные характеристики для условий, в которых проводился эксперимент. Следует отметить, что, по мнению многих специалистов, выполняющих исследования и поверки электронных тахеометров, тщательно отъюстированный тахеометр на коротких расстояниях может выполнять измерения линий в два раза точнее, чем заявлено в паспортных данных.

Таблица 2

Характеристики приборов

Характеристики точности	Приборы	
	SET530R	Leica HDS25000
Точность определения расстояния в безотражательном режиме	$\pm(3 + 2 \cdot 10^{-6} \times D)$ [± 3 мм]	± 4 мм
Точность измерения углов	5" [$\pm 0,8$ мм]	12" [± 2 мм]

Как видно из табл. 2, точность разностей существенно зависит от ориентировки линий относительно линии визирования. Так как направления на точки находились в секторе величиной до 20°, использована возможность раздельно оценить разности для продольных и поперечных линий. Средняя квадратическая погрешность, полученная по разностям двойных измерений, для продольных направлений составила $\pm 1,4$ мм, для поперечных - $\pm 0,8$ мм, что соответствует характеристикам табл. 2.

Во втором варианте анализировались непосредственно координаты точек скана, полученные из программы Cyclone, и координаты, определенные тахеометром и рассчитанные в CREDO_DAT. Для сравнения использовались функциональные возможности определения параметров связи геоцентрических (общеземных и референсных) координат программы ТРАНСКОР.

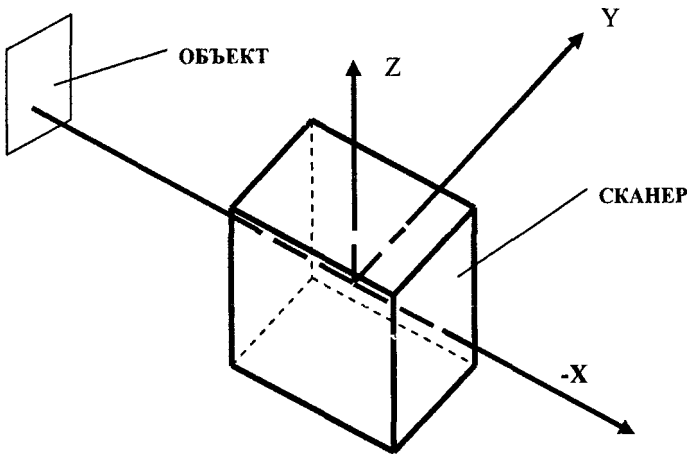


Рис. 4. Единая пространственная система координат

Пространственные координаты точек из Cyclone и CREDO_DAT приведены (изменением знаков, назначением осей) в единую пространственную систему (рис. 4), в которой ось X направлена вдоль линии ориентировки сканера, ось Y - поперек, ось Z - по вертикали. Далее с помощью программы ТРАНСКОР определены параметры связи двух пространственных систем координат - сканера и тахеометра с отысканием. Найденные параметры связи использованы для определения уклонов координат, полученных с помощью сканера, от рассчитанных по найденным параметрам. Именно эти уклоны и анализируются.

Результаты анализа измерений в проведенном эксперименте представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа измерений

Расстояние от сканера до контрольных точек	Уклоны трансформированных координат сканера			Линейная составляющая уклонов ds
	dx	dy	dz	
16,5	0,0010	0,0002	-0,0009	0,0014
16,8	0,0011	0,0002	-0,0017	0,0020
22,1	0,0002	0,0003	-0,0011	0,0012
23,9	0,0002	-0,0006	-0,0004	0,0007
23,9	0,0012	-0,0001	-0,0001	0,0012
31,1	0,0004	0,0000	0,0000	0,0004
31,1	0,0011	0,0006	-0,0022	0,0025
31,2	0,0010	-0,0002	-0,0015	0,0018
Среднее значение уклонов	0,0008	0,0001	-0,0010	0,0014
Средние квадратические погрешности	0,0009	0,0004	0,0013	0,0016

Средние значения уклонов характеризуют наличие определенных систематических погрешностей; в данном случае - по продольной и вертикальной осям. Средние квадратические погрешности

рошо согласуются с результатами анализа по первому варианту. Существенной зависимости уклонов от расстояния в данном случае не выявлено (рис. 5).

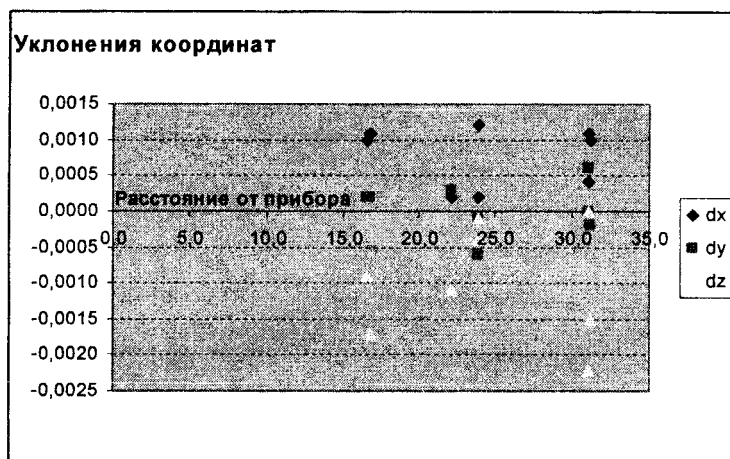


Рис. 5. Зависимость уклонов от расстояния

Так как программа ТРАНСКОР при определении параметров позволяет легко включать, отключать точки, переводить в состояние контрольных (участвующих в независимом вычислении уклонов), то проверена также возможность оценки уклонов при использовании определения параметров связи только по трем точкам (как это и происходит при шивке сканов). Результаты сравнения независимых уклонов по пяти контрольным точкам приведены в табл. 4. Как видим, результаты практически не отличаются от приведенных в табл. 3.

Таблица 4

Результаты сравнения независимых уклонов

Наименование результатов сравнения	Уклоны трансформированных координат сканера			Линейная составляющая уклонов, d_s
	dx	dy	dz	
Среднее значение уклонов	0,0003	0,0003	-0,0011	0,0014
Средние квадратические погрешности	0,0006	0,0006	0,0016	0,0018

Таким образом, проведенный эксперимент показал возможность быстрой полевой проверки точности работы сканера без значительных трудозатрат.

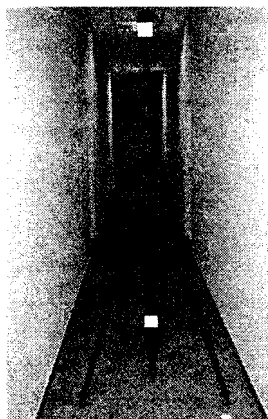


Рис. 6. Сканер Leica HDS2500

Изложенное дает основание рекомендовать для практического применения две методики проверки точности работы сканера:

1. Для оперативной проверки точности сканера непосредственно в поле перед началом работы на конкретном объекте размещается 2-3 мишени и измеряется расстояние между их центрами с помощью любого доступного и удовлетворяющего по точности инструмента (например, рулетки).

Затем выполняется сканирование и сравниваются полученные результаты. Для этих же целей можно использовать вежу для двух мишеней, штатно входящую в комплект сканера Leica HDS2500 (рис. 6). Расстояние между закрепленными на веже мишенями известно и постоянно.

2. Для более тщательной проверки создать группу эталонных точек, определить их координаты в свободной пространственной системе координат электронным тахеометром. Операцию эту лучше проводить двумя-тремя тахеометрами, либо с нескольких точек стояния - программа ТРАНСКОР позволит легко привести измерения в единую систему. Далее проводить проверки и обработку результатов по изложенной выше методике, анализируя точность для различных расстояний по трем осям. В качестве инструмента определения уклонов можно применять не только программу ТРАНСКОР, но и систему Pinnacle. Сейчас сложно говорить о периодичности проверок, его, очевидно, придется устанавливать опытным путем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наземное лазерное сканирование. Введение в технологию. (<http://www.gsi2000.ni/articles.php?seclid=2&id=1&artld=>
2. Бюхлер В., Бордас Винсент М., Марбс А. Анализ точности лазерных сканирующих систем // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. - 2004. - № 1(43), 2(44).