

# ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СЕТИ ОПОРНЫХ МАРОК ДЛЯ СЪЕМКИ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ

**И.В. Оньков** (НПФ «Землемер», Пермь)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Степногорском управлении строительства, с 1974 г. — в Пермском политехническом институте, с 1989 г. — в Горном институте УрО АН (Пермь), с 1993 г. — в Частном предприятии по созданию цифровых карт, с 1995 г. — в филиале «Госземкадастръёмка» — ВИСХАГИ (Пермь), с 2000 г. — в Пермском филиале ООО «Недра» (Челябинск), с 2002 г. — в ООО «ПермНИПИнефть». В настоящее время — научный консультант ООО НПФ «Землемер». Кандидат технических наук.

**С.В. Семенов** (НПФ «Землемер», Пермь)

В 1998 г. окончил горно-нефтяной факультет Пермского государственного технического университета по специальности «прикладная геодезия». После окончания университета работал в ООО «ПермИнфо», с 2000 г. — в отделе инженерных изысканий ООО «ПермНИПИнефть». С 2005 г. по настоящее время — начальник отдела лазерного сканирования ООО НПФ «Землемер».

При съёмке фасадов зданий методом лазерного сканирования или цифровым фотограмметрическим методом для внешнего ориентирования сканов и снимков необходимо определять пространственные координаты опорных точек (специальных марок), устанавливаемых на фасадах зданий. Обычно для этих целей создается опорная геодезическая сеть в виде замкнутого полигона, пункты которой закрепляются на земной поверхности временными знаками, после чего координаты марок на фасадах здания определяют с этих знаков с помощью тахеометров с безотражательными дальномерами либо методом угловых засечек, либо полярным методом.

Как показал опыт работ при строительстве высотных зданий в условиях существующей плотной городской застройки, такой двухэтапный путь определения координат марок на фасадах зданий имеет некото-

рые недостатки. Во-первых, практически невозможно обеспечить видимость с земли между пунктами сети из-за наличия препятствий различного характера (здания, ограждения и т. п.). Во-вторых, достаточно сложно гарантировать сохранность закрепляемых на земной поверхности временных знаков в условиях строительной площадки. Кроме того, если наблюдения выполняют в два этапа (создание сети, наблюдения на марки), то повторное центрирование тахеометра над временным знаком и определение высоты установки прибора рулеткой вносит дополнительные ошибки в измерения, сопоставимые по величине с допустимыми погрешностями определения координат опорных марок (3–5 мм). Поэтому, для обеспечения надлежащей точности определения координат пунктов опорной геодезической сети и марок, наблюдения необходимо выполнять по

трехштативной системе. Для проведения таких работ требуется бригада, как минимум, из двух человек.

Авторами опробована и используется на практике более гибкая технология определения координат марок методом линейно-угловых засечек, образующих замкнутую пространственную сеть, без создания наземной опорной геодезической сети. Все наблюдения выполняются безотражательным электронным тахеометром с произвольных, наиболее удобных для установки прибора точек, без их закрепления временными знаками, одним исполнителем.

В основу геометрии построения пространственной сети положен принцип связующих точек и условие замкнутости. На каждой смежной паре станций наблюдения необходимо выполнить измерения, как минимум, на две одноименные марки, не лежащие на одной вертикали. На последней станции

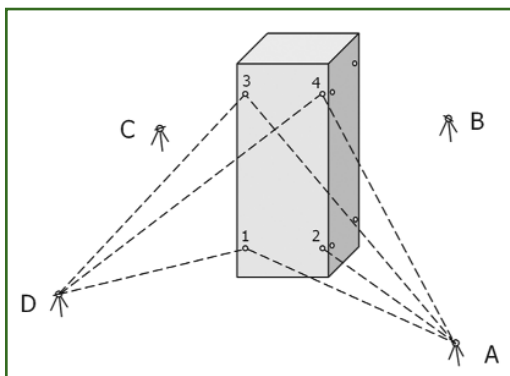


Рис. 1

Расположение марок 1, 3 и 4, являющихся связующими для станций наблюдения A и D

наблюдения, для замыкания сети, вторично проводят измерения на первые марки. Станции наблюдения выбирают так, чтобы были видны марки на двух смежных фасадах здания (рис. 1).

Для повышения точности создания сети и обеспечения надежного контроля количества связующих марок должно составлять не менее трех-четырех (не лежащих на одной вертикали) и каждую из них необходимо наблюдать, по крайней мере, с двух станций. В тех случаях, когда все измерения на станции бракуются, повторные измерения выполняют только на этой станции, примерно с того же места.

При каждом наведении на марку измеряют три параметра: горизонтальное направление, зенитное расстояние и наклонную дальность (или горизонтальное проложение и высоту). Так как в процессе уравнивания вычисляются также координаты станций, на которых устанавливался тахеометр, и направление ориентирующего угла лимба (4-е неизвестных на каждой станции), то общее число избыточных измерений ( $K$ ) в сети будет равно:

$$K = 3n_1 - 3n_2 + 4n_3,$$

где  $n_1$  — количество измеренных параметров на марки;

$n_2$  — количество марок;

$n_3$  — количество станций наблюдения.

Нетрудно подсчитать, что число избыточных измерений для стандартного расположения, как показано на рис. 5 (16 марок на двух уровнях и четырех станциях), будет составлять: при двух связующих марках —  $K = 8$ , при трех связующих марках —  $K = 20$ , при четырех связующих точках —  $K = 32$ . Такое число избыточных измерений обеспечивает достаточно надежную оценку точности измерений по результатам уравнивания.



Рис. 2

Общий вид здания

#### Пример создания пространственной сети при сканировании фасадов многоэтажного здания

В качестве примера рассмотрим более подробно процесс создания пространственной сети по описанной выше технологии при лазерном сканировании фасадов в процессе строительства многоэтажного здания (рис. 2) в условиях существующей плотной городской застройки.

Опорные марки были расположены попарно вблизи углов здания на двух уровнях: на высоте 8-го и 18-го этажей (рис. 3). В качестве марок использовались CD-диски с бе-



Рис. 3

Расположение опорных марок на здании

лой матовой поверхностью, закрепленные на стенах зданий клеем «жидкие гвозди». Геометрическим центром марки, координаты которого определялись по результатам геодезических измерений, являлась наклейка диаметром 10 мм из светоотражающего материала (рис. 4).

Измерения горизонтальных направлений, вертикальных углов и расстояний выполнялись электронным тахеометром TOPCON GPT 3005N в три приема с записью результатов во внутреннюю память тахеометра. В общей сложности было выполнено по два наблюдения на 14 марок и по одному на две марки, на которые измерения проводились с одной станции из-за плохой видимости. На



Рис. 4

Опорная марка

рис. 5 показано плановое расположение станций наблюдения (Т1 — Т4) и опорных марок (А18, А8, В18, В8, ... Н18, Н8).

Предварительная обработка измерений и уравнивание сети выполнялись в программе по уравниванию по методу наименьших квадратов Star\*Net Pro 6.0 (Starplus Software, Inc.).

В процессе предварительной обработки для контроля были вычислены невязки в координатах при замыкании сети на марки А8, А18, В8 и В18. Величины невязок приведены в табл. 1.

Уравнивание сети выполнялось в условной системе координат: фиксировались координаты станции Т2 и направление на марку Е8, после чего координаты марок перевычислялись в

систему координат, оси которой были параллельны фасадам здания.

По результатам уравнивания были получены следующие значения средних квадратических погрешностей координат опорных марок (табл. 2).

Предложенная схема построения пространственной сети линейно-угловыми засечками без закрепления временными знаками станций наблюдения обеспечивает гибкость выбора места установки прибора, надежный контроль измерений, достаточно высокую точность определения координат опорных марок, а также позволяет существенно сократить людские ресурсы и время на выполнение работ. К примеру, общие затраты времени на полевые

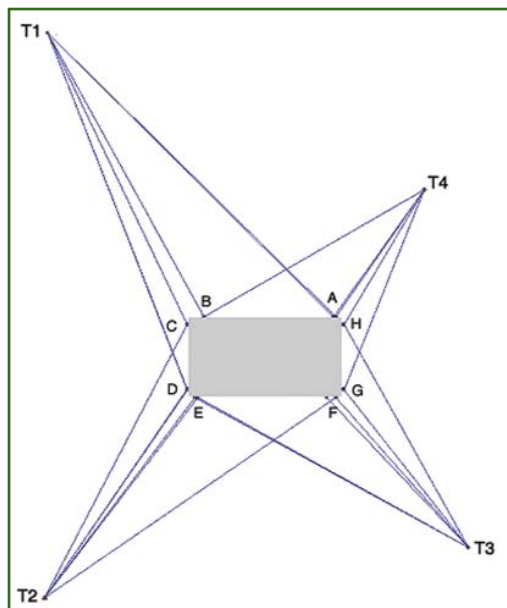


Рис. 5  
Схема геодезической сети

измерения и камеральную обработку рассмотренной выше сети одним исполнителем составили около 8 часов.

Следует также отметить, что использование светоотражающего материала на марках значительно повышает точность измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме. В приведенном выше примере средняя квадратическая погрешность измерения наклонных дальностей до опорных марок за один прием составила 2,1 мм, что более чем в два раза меньше паспортной точности используемого тахеометра (5 мм).

Невязки в координатах пространственной сети				Таблица 1
Номер марки	Невязки в координатах, мм			
	fx	fy	fh	
A18	-3,3	0,0	5,5	
A8	-3,1	0,0	0,2	
B18	4,7	2,8	-0,6	
B8	3,7	-1,9	1,7	

Средние квадратические погрешности координат опорных марок				Таблица 2
Номер марки	Средняя квадратическая погрешность, мм			
	mx	my	mh	
A18	3,59	2,42	1,87	
A8	3,74	2,49	1,66	
B18	2,55	2,43	1,86	
B8	2,60	2,51	1,65	
C18	2,29	2,18	1,82	
C8	2,57	2,20	1,53	
D18	2,04	1,81	1,88	
D8	2,22	1,83	1,46	
E18	1,99	1,86	1,89	
E8	1,76	1,34	1,52	
F18	2,89	2,12	2,01	
G18	3,44	2,03	1,92	
H18	3,49	2,46	1,93	
H8	3,53	2,48	1,60	

**RESUME**  
When surveying buildings' facades using either the ground-based laser scanning or the digital photogrammetric method for the exterior orientation of scans or photographs it is necessary to determine the spatial coordinates of the reference marks, fixed on the facades. It is proposed to do this by the linear and angular intersections technique from observation stations without their fixation on the Earth's surface with temporary points.