

СЪЕМКА ФАСАДОВ ЗДАНИЯ БЮДЖЕТНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОСЪЕМОЧНОЙ СИСТЕМОЙ. ТЕСТ НА ПРИМЕНИМОСТЬ

Р.Р. Барков (НГК «Горный»)

В 1995 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в УГПП «Спецгеофизика», с 1996 г. — в ФГУ «РостестМосква», с 2000 г. — в ФГУП «Уренгойфундаментпроект», с 2004 г. — в НПК «Йена Инструмент», с 2006 г. — в ООО «Центр Инженерных Геотехнологий», с 2016 г. — в ООО «ПТЕРО», с 2019 г. — в ООО «Фотометр». В настоящее время — главный маркшейдер ООО «НГК «Горный».

Е.С. Читалова (Санкт-Петербургский государственный университет)

В 2018 г. окончила строительный факультет Санкт-Петербургского горного университета с присвоением квалификации бакалавр по направлению «землеустройство и кадастры». В настоящее время — студентка III курса магистратуры Санкт-Петербургского государственного университета по направлению «землеустройство и кадастры».

Результаты геодезической съемки фасадов строящихся или реконструируемых зданий широко применяются для контроля геометрических параметров, а также для расчета объемов строительных материалов при проектировании. Традиционным методом съемки фасадов является тахеометрическая съемка. За последние 10–15 лет появились многочисленные примеры применения таких современных технологий, как наземное лазерное сканирование и цифровая стереофото-съемка. Имеется много публикаций, посвященных каждому из этих методов или их комбинациям [1]. Однако, целью исследований, в основном, являлось доказательство высокой точности съемки сложных архитектурных элементов, как правило, в целях реставрации памятников или создания моделей объектов культурного наследия.

Действительно, при использовании современных методов

обеспечивается высокая точность получения геометрических параметров снимаемого объекта, которая может составлять несколько миллиметров. Но способы достижения такой точности достаточно трудоемки. И если при работе с объектами культурного наследия такие трудозатраты, дополняемые использованием мощных компьютеров для обработки, в большинстве своем, оправданы, то при строительстве типового многоэтажного здания требуется оперативно получать результаты. А условия работы на строительной площадке позволяют эффективно использовать лишь простые способы, не требующие многократных перемещений и установки громоздкого оборудования.

Одним из направлений, позволяющих оперативно получать пространственные данные о строящемся здании, является аэросъемка цифровой фотокамерой, установленной на бес-

пилотном летательном аппарате. Такие работы выполняются дистанционно, без необходимости присутствия исполнителя на территории строительной площадки, что является преимуществом перед другими методами. Количество времени, затрачиваемое на аэросъемку и на тахеометрическую съемку, практически одинаковое. А сопоставимы ли погрешности измерений?

Для ответа на этот вопрос специалисты компании «Фотометр» выполнили техническое исследование. Его задачей являлось сравнение точности пространственных данных, полученных тахеометрическим и фотограмметрическим методами, а также определение возможности создания исполнительного плана элементов фасада по снимкам, полученным при помощи бытовой цифровой фотокамеры, размещенной на бюджетном беспилотном летательном аппарате

мультироторного типа (квадрокоптере), после их фотограмметрической обработки. В качестве объекта для проведения исследования были выбраны фасады строящегося в Москве семнадцатизэтажного дома, входящего в жилой комплекс «Преображение».

Исполнительный план фасада здания необходим для дальнейших проектных работ с учетом уже построенных основных конструкций. Допустимая погрешность отображения элементов фасада в плане, согласно строительным правилам [2], определяется планом производства геодезических работ (ППГР). В нашем случае она составляла 5 мм.

Для фотограмметрической обработки материалов аэро съемки на фасаде здания и земной поверхности размещались опорные знаки (опознаки), которые легко можно обнаружить на снимках. Поскольку данные тахеометрической съемки и аэро съемки должны быть выполнены в единой локальной системе координат геодезической опорной сети строительной площадки, было принято решение исключить влияние погрешностей создания опорной сети на конечные результаты. Для этого тахеометрическую съемку точек на фасаде и определение координат опознаков выполнял один и тот же геодезист подрядной строительной организации с одних и тех же точек опорной геодезической сети. Таким образом, возможные различия координат одноименных точек фасада здания, полученных по данным тахеометрической съемки и по цифровой модели, созданной в результате фотограмметрической обработки, позволили бы определить «в чистом виде» отклонения, обусловленные только точностью каждого из этих методов.

Съемка проводилась цифровой фотокамерой с матрицей

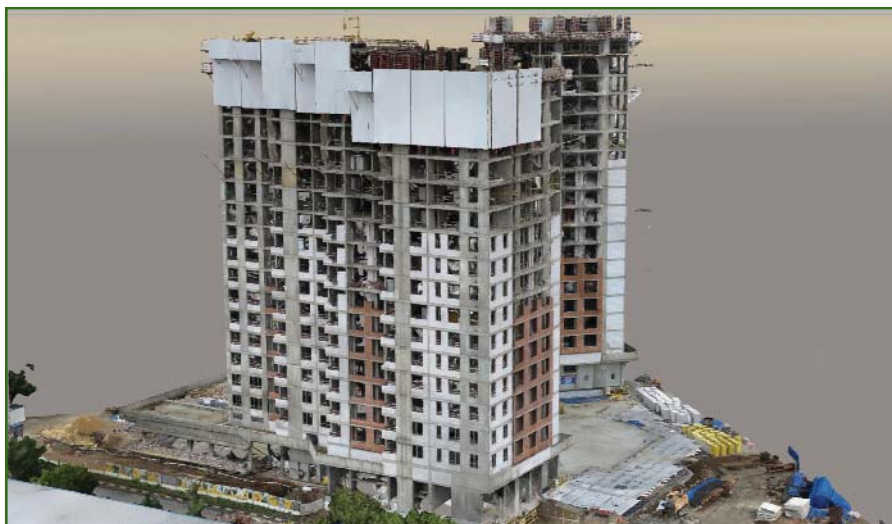


Рис. 1

Трехмерная цифровая модель здания в программе ContextCapture

Exmor R CMOS с диагональю 1 дюйм и разрешением 20 Мпикселей, установленной на квадрокоптере DJI Phantom 4 Pro. Для управления квадрокоптером при аэро съемке и планировании маршрутов использовалась программа DJI Ground Station Pro, установленная на планшет Apple. В данной работе преднамеренно не использовалась зеркальная или, тем более, метрическая цифровая камера. Рассматривалась допустимость применения именно бюджетной беспилотной аэро съемочной системы, уже ставшей популярной у массового потребителя.

Двенадцать опознаков, установленных на фасаде здания, использовались при маршрутной аэро съемке камерой с наклоном для получения перспективных снимков фасада, а опознаки на земной поверхности (4 штуки) — при маршрутной аэро съемке камерой в надири. Опознаки были пронумерованы так, чтобы цифры легко различались на снимках.

Маршруты были построены таким образом, чтобы продольное перекрытие снимков составляло не менее 80%, а поперечное — не менее 60%.

Для аэро съемки был выбран день с наиболее благоприятными условиями для этого вида работ — облачная погода без ветра и осадков.

Аэро съемка выполнялась в автоматическом режиме, при этом координаты центров фотографирования определялись с навигационной точностью при помощи бортового спутникового приемника. Общее количество аэро снимков составило 1672.

Фотограмметрическая обработка снимков проводилась при помощи программного обеспечения ContextCapture компании Bentley Systems. Выбор данной программы был обусловлен требованиями к высокой детальности и скорости построения цифровой модели фасада здания и его специализацией для строительной отрасли (согласно концепции Bentley Systems), что наиболее полно отвечало поставленной задаче.

В программе ContextCapture была выполнена аэротриангуляция и трансформация снимков, построена трехмерная цифровая модель фасада строящегося здания в виде нерегулярной триангуляционной сетки (TIN) в местной

системе координат строительной площадки (рис. 1).

На модель по координатам были нанесены точки фасада здания, определенные тахеометрическим методом. Эти точки не участвовали при трансформации модели и были приняты в качестве контрольных точек для сравнительной оценки точности фотограмметрического и тахеометрического методов. Контрольные точки были распределены по блокам в соответствии с типами поверхности стен фасада. Выделено пять типов поверхностей: фронтальные панели, боковые панели, стены из кирпичей, стены из газоблоков и перекрытия (межэтажные и межблочные). На каждом типе поверхностей случайным образом было отобрано по 20 контрольных точек и измерены отклонения от модели — кратчайшие расстояния от точек до TIN-поверхности. Наложение данных тахеометрической съемки на модель и измерение отклонений проводилось в программе OpenRoads Designer компании Bentley Systems (рис. 2).

При статистической обработке полученных отклонений контрольных точек был вы-

явлен их систематический рост с возрастанием этажности, причем этот эффект начал проявляться с седьмого этажа и выше. Это не вызывает удивления, так как известно, что с увеличением угла наклона зрительной трубы тахеометра растет погрешность измерения координат, обусловленная как увеличением лазерного луча безотражательного тахеометра, так и резко возрастающим влиянием неперпендикулярности оси вращения зрительной трубы и оси вращения прибора. Кроме того, в этих условиях ошибки, вызванные неправильным визуальным наведением на точки, подлежащей съемке, в несколько раз превосходят расчетную точность работ [3]. По этой причине для получения корректных выводов по результатам сравнительной оценки точности методов были использованы только данные, полученные до седьмого этажа включительно.

Статистическая обработка проводилась отдельно по каждому блоку данных (типу поверхности). Вычислялись средние значения отклонений, отклонения каждой величины от среднего значения, дисперсии среднего квадратического

отклонения (σ). Была выполнена проверка на подчинение значений σ закону нормального распределения, для чего определены функции плотности вероятности, которые для наглядности приведены на графиках (рис. 3 и 4).

По фронтальным и боковым панелям, а также по перекрытиям, в целом, разброс величин подчинялся закону нормального распределения, при этом наблюдались случаи небольшого отклонения гистограмм в ту или иную сторону (рис. 3).

На нерегулярных поверхностях (участки стен из кирпича и газоблоков) имелись уже явные проявления систематических погрешностей (рис. 4).

На наш взгляд, это вызвано двумя основными факторами:

1) в то время как геодезист при измерениях выбирал контрольные точки в оконных проемах на углах газоблоков, программа в некоторых местах не смогла в оконных проемах построить верхнюю грань газоблока — вместо прямого угла получалась фаска;

2) геодезист при съемке стены не всегда скрупулезно следит за положением оси визирного луча и произвольно

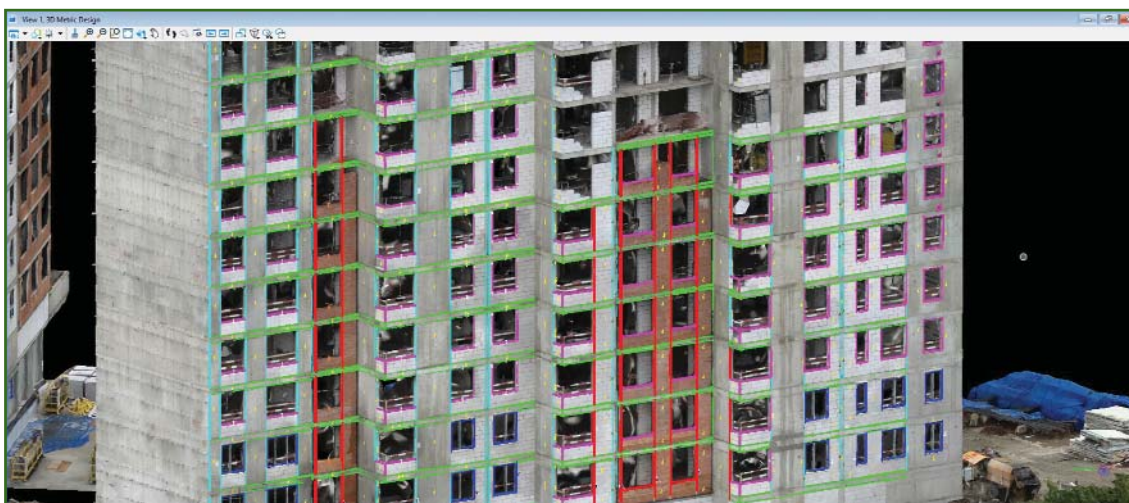


Рис. 2

Совмещение исполнительного чертежа (тахеометрия) и модели (фотограмметрия)

попадает в щели, выбоины и отверстия, в то время как программа игнорирует промежутки между блоками и швы между кирпичами, не строит сколы кирпичей и т. п., сглаживая нерегулярную поверхность.

При этом необходимо заметить, что основная часть результатов все же легла «в одну корзину», а большие отклонения от среднего значения носят характер единичных флуктуаций (см. таблицу). Если исключить их из обработки, то распределение случайных величин будет лучше подчиняться закону нормального распределения.

Относительно нерегулярных поверхностей можно сделать вывод о том, что фотограмметрический метод дает лучшие

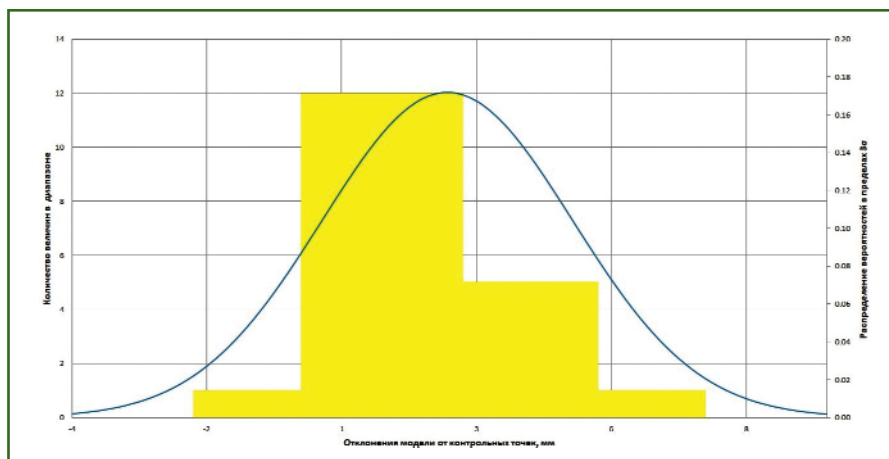


Рис. 3
Распределение величин отклонений модели от контрольных точек на фронтальных панелях здания

результаты при съемке стен фасадов из кирпича и газоблоков, чем тахеометрический, так как усредняет поверхность стены и не учитывает мелкие

выбоины. При этом особое внимание следует уделить верхней грани газоблоков в проемах — для таких участков как при выполнении тахеометрической

Отклонения контрольных точек от цифровой модели фасада, построенной фотограмметрическим методом

Номера контрольных точек	Отклонения контрольных точек от цифровой модели фасада, мм				
	Фронтальные панели	Боковые панели	Стены из кирпича	Стены из газоблоков	Перекрытия
1	1,0	7,5	29,0	0,3	4,2
2	1,0	12,6	12,0	3,0	9,8
3	1,5	11,9	0,0	8,5	3,3
4	1,0	11,4	3,0	5,3	1,6
5	2,1	9,0	1,0	7,6	7,5
6	4,3	9,7	2,0	7,7	3,3
7	6,4	15,1	0,0	20,5	1,9
8	1,4	7,3	0,0	12,6	0,3
9	4,9	7,3	2,0	10,3	3,0
10	3,8	5,0	0,0	1,8	3,0
11	1,3	12,8	0,0	3,0	0,0
12	0,6	13,3	5,0	1,0	1,0
13	2,4	7,8	0,0	2,0	3,0
14	3,0	9,2	24,0	1,0	1,0
15	10,1	9,7	1,0	0,0	2,0
16	1,6	10,0	9,0	1,0	3,0
17	1,0	7,2	1,0	2,0	0,0
18	3,0	15,0	14,0	1,0	0,0
19	0,0	1,0	4,0	0,0	1,0
20	2,0	2,2	0,0	0,0	2,0
Среднее	2,62	9,25	5,35	4,43	2,55

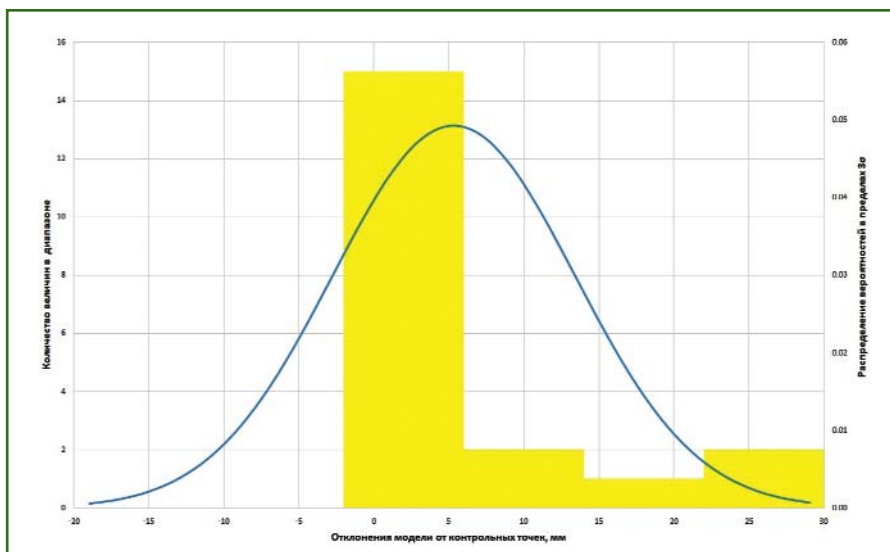


Рис. 4

Распределение величин отклонений модели от контрольных точек на участках стен здания из кирпича

съемки, так и при аэросъемке, необходимо подбирать другие параметры.

Большинство полученных отклонений укладывается в пределы допустимой погрешности, определенной ППГР. Необходимо обратить внимание на величины, находящиеся за этими пределами.

Про особенности построения модели стен из кирпича и газоблоков уже было сказано выше, поэтому рассмотрим результаты, полученные на боковых панелях.

Выявленные на боковых панелях величины отклонений от модели объясняются особенностями маршрутов аэросъемки, использовавшихся в настоящей работе. Эти маршруты планировались так, чтобы наилучшим образом охватить все фронтальные поверхности фасадов (рис. 5). При этом незначительным по площади боковым поверхностям не было уделено достаточного внимания, в результате чего они оказались покрыты меньшим количеством снимков. Это, в свою очередь,



Рис. 5

Точки положения фотокамеры при выполнении аэросъемки

привело к снижению качества модели и, как следствие, к меньшей точности ее построения.

Таким образом, выполненное техническое исследование позволяет говорить о допустимости использования для съемки фасадов высотных зданий бюджетной беспилотной аэросъемочной системы, оснащенной не метрической цифровой фотокамерой, но при условии четкого соблюдения методики сбора данных и их обработки, включая корректное построение полетных заданий. Поскольку нормативные документы по созданию моделей зданий и сооружений фотограмметрическими методами в настоящее время еще не разработаны, исходя из нашего опыта, при определении параметров аэросъемки следует использовать рекомендации разработчика программного обеспечения. А при выборе самого программного обеспечения для фотограмметрической обработки — обращать внимание на детальность построения модели небольших конструктивных элементов.

Также можно сделать вывод о том, что для съемки фасадов верхних этажей зданий фотограмметрический метод с использованием беспилотной аэросъемочной системы обеспечивает меньшую погрешность по сравнению с методом тахеометрической съемки.

▼ Список литературы

1. Галахов В.П. Разработка методики создания векторных моделей объектов по результатам наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М., 2012.

2. СП 126.13330.2017 Геодезические работы в строительстве. СНиП 3.01.03-84.

3. Валтонен Д.А. Съемка фасадов зданий с помощью электронных тахеометров // Геопрофи. — 2010. — № 1. — С. 25–29.