

## **Проектирование наземной фотограмметрической съёмки**

Радцевич Е.И., Кабацкий А.В., Куприенко Н.О.  
Белорусский национальный технический университет

Актуальной проблемой в настоящее время является совершенствование инфраструктуры и цифровизация сферы культуры. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29 января 2021 г. № 53 утверждена Государственная программа «Культура Беларуси» на 2021-2025 гг., которая направлена на реализацию приоритетов социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы и решение задач государственной политики в сфере культуры. В рамках Государственной программы продолжают работы по строительству, реставрации, реконструкции, капитальному ремонту объектов инфраструктуры сферы культуры, в том числе памятников архитектуры, формирование цифрового культурного контента, создание электронных каталогов историко-культурных и природных памятников Республики Беларусь.

В настоящее время существуют различные методы получения трехмерных моделей объектов культурного наследия. Самым известным и распространенным, безусловно, является метод наземного лазерного сканирования, но процесс редактирования трехмерной модели требует много времени, а также использование оборудования для лазерного сканирования является дорогостоящим и требует определенного навыка работы. Более дешевым и простым методом получения трехмерной модели объекта является метод наземной фотограмметрической съёмки, который заключается в получении метрической информации об объекте по его изображениям на снимках.

Методы наземной фотограмметрии применяются для решения многих задач в различных областях науки и производства. Одной из основных задач фотограмметрии в архитектуре является выполнение архитектурно-строительных обмеров путём составления фотопланов с целью реконструкции и реставрации зданий, а также в научно-исследовательских целях.

Фотоплан может состоять из одного или нескольких трансформированных снимков, по которым можно выполнять обмеры сооружений, состоящих, в основном, из плоских элементов и крупных форм на одну или несколько плоскостей. Если объект имеет сложную форму, то выполняется ортофототрансформирование – создание ортогональной проекции объекта на заданную плоскость с использованием цифровой модели объекта.

На стадии проектирования наземной фотограмметрической съемки всегда встает вопрос: какое количество съемочных станций необходимо и как их расположить для конкретной камеры, которая в свою очередь имеет своё фокусное расстояние и формат кадра, чтобы выполнить съемку всего объекта при минимальном количестве точек фотографирования и обеспечить заданную точность определения координат точек объекта по снимкам.

В случае, когда требуется получить координаты точек только в одной плоскости, например, плоский фасад здания, достаточно выполнить съемку с одной точки фотографирования и построить ортофотоснимок. В других случаях, когда необходимо получить трёхмерную модель объекта, съёмку выполняют с базиса (базисов) фотографирования, получив одиночную стереопару, маршрут или блок снимков. В этих случаях, как правило, применяется нормальный случай съёмки. Если объект предполагается изучать только по точкам, предварительно замаркированным на объекте, то можно выполнять конвергентную съёмку с целью повышения точности определения координат точек объекта. Для высоких объектов можно запроектировать съёмку с наклоном оптических осей или с вертикальных базисов фотографирования и т.д. В общем случае для каждого объекта будет своя схема съёмки.

При съемке протяженных объектов целесообразно производить маршрутную или блочную съемку объекта.

В маршрутной съемке из смежных снимков маршрута, формируется стереопары снимков нормального или равнонаклонного случаев съемки. При этом съемка выполняется таким образом, чтобы у смежных стереопар имелась область так называемого тройного перекрытия. Для этого съемку выполняют таким образом, чтобы смежные снимки в маршруте перекрывались по направлению маршрута приблизительно на 60%.

В случае, если при проведении маршрутной съёмки объект изображается на снимках по высоте не полностью, производят блочную (многомаршрутную) съёмку, в которой выполняют дополнительную маршрутную съёмку объекта, формируя один или несколько параллельных первому маршрутов с поперечным перекрытием маршрутов не меньше 20-30%.

При выполнении наземной стереофотограмметрической съёмки могут возникнуть участки объекта, которые не изобразились на стереопаре снимков – «мертвые зоны». Чтобы избежать образования «мёртвых зон» производят съёмку с дополнительных базисов фотографирования.

При выборе схемы съёмки всегда приходится решать три основные задачи:

1. Обеспечить заданную точность определения координат точек объекта при минимальном количестве станций фотографирования (снимков).

2. Покрыть съёмкой весь изучаемый объект, чтобы отсутствовали «мертвые зоны».

3. Обеспечить дешифрируемость объектов по снимкам.

Для обеспечения заданной точности определения координат точек объекта ( $m_x, m_y, m_z$ ), необходимо рассчитать базис фотографирования и максимальное отстояние камеры от объекта.

Базис фотографирования  $b$  вычисляют в масштабе снимка, задаваясь продольным перекрытием  $P_x$  между снимками:

$$b = \frac{l_x(100\% - P_x)}{100\%} \quad (1)$$

Здесь  $l_x$  – формат снимка вдоль оси  $x$ .

Затем необходимо вычислить максимальное отстояние  $Z$ , при котором будет обеспечена заданная точность определения координаты  $Z$  (вдоль оптической оси камеры) точек объекта, используя следующую формулу:

$$Z = \frac{b}{m_p} m_z \quad (2)$$

где  $m_p$  – средняя квадратическая ошибка измерения продольных параллаксов по снимкам.

Соответствующее значение базиса фотографирования на местности можно вычислить по формуле:

$$B = \frac{Z}{f} b \quad (3)$$

где  $f$  – значение фокусного расстояния съёмочной камеры.

Если при выполнении съёмки придерживаться значений отстояния и базиса фотографирования, то при фотограмметрической обработке таких снимков точность определения координаты  $Z$  не будет ниже заданной  $m_z$ , а точность определения координат  $m_x, m_y$ , точечек объекта будет заведомо выше, чем  $m_z$ .

Для выполнения внешнего ориентирования фотоснимков необходимо выполнить геодезическое обоснование. В качестве опорной информации при фотограмметрической обработке наземных снимков используют координаты опорных точек и центров проекции снимков, значения угловых элементов внешнего ориентирования снимков. Как известно, для одиночного снимка необходимо не менее трех планово-высотных точек, а для модели минимальным количеством является двух планово-высотных плюс одна высотная точка. Минимальное количество опорных точек позволяет определить элементы внешнего ориентирования без оценки точности этого определения. Рекомендуется производить избыточные измерения.

При геодезическом определении координат можно использовать метод тахеометрической съёмки с помощью тахеометров с угловой точностью 3-5" и обеспечивающими линейную точность 1-2 см прямыми измерениями в безотражательном режиме или угловыми засечками, которые дают точность порядка 1-2 мм.

В случае отсутствия тахеометра применяется геодезическая рулетка, с помощью которой можно измерить расстояния с точностью до 1-2 мм. В таком случае, опорные точки должны располагаться на сооружении по вертикальным и горизонтальным линиям относительно друг друга, причём все измеряемые точки должны принадлежать одной плоскости.

В большинстве случаев при выполнении наземной стереофотограмметрической съёмки используют нормальный случай съёмки. Предрасчет точности определения координат точек объекта по стереопаре снимков нормального случая съёмки выполняют по формулам:

$$m_x = \frac{Y}{f} m_x', \quad m_y = \frac{Y}{f} m_y', \quad m_z = \frac{Y}{b} m_p. \quad (4)$$

где  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_p$  — средние квадратические ошибки измерения координат и продольных параллаксов точек снимков,

Для выполнения наземных фотограмметрических съёмок применяются метрические фотокамеры, так же допускается использовать профессиональные и любительские. Главная особенность метрических камер – жестко укрепленные на корпусе фотокамеры объектив и светоприёмная матрица, обеспечивая, таким образом, постоянство элементов внутреннего ориентирования камеры, которые определяют на заводе-изготовителе, включая параметры фотограмметрической дисторсии. Любительские и профессиональные цифровые фотокамеры должны быть предварительно подвергнуты процедуре фотограмметрической калибровки, в результате которой определяются элементы внутреннего ориентирования фотокамеры, включая параметры фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры.

Фотограмметрическая калибровка цифровых фотокамер производится по снимкам пространственного тест-объекта, который представляет собой пространственное поле маркированных точек. Определение параметров внутреннего ориентирования фотокамер, т.е. их фотограмметрическая калибровка по снимкам пространственного тест-объекта, основано на совместном решении системы уравнений коллинеарности, составляемых для каждого измеренного на цифровом снимке изображения точки тест-объекта.

С целью повышения надёжности и точности определения параметров внутреннего ориентирования калибруемых камер, производят съёмку тест-объекта многократно с поворотом камеры вокруг оптической оси объектива на  $180^\circ$  и определяют искомые парамет-

ры в результате совместной обработки измерений, выполненных по всем полученным снимкам.

Критерием оценки точности проведённой фотограмметрической калибровки цифровой камеры и, как следствие, критерием пригодности камеры для выполнения фотограмметрических определений являются значения остаточных погрешностей координат измеренных на снимке точек, значения которых в зависимости от типа калибруемой фотокамеры должны лежать в пределах от 0,15 до 0,5 пикселя.

Применение обычной цифровой камеры вместо лазерного сканера значительно сокращает стоимость работ, облегчает вес оборудования в процессе производства полевых работ, а также использование доступных программных продуктов для обработки снимков и превращения их в трехмерную модель из «облака точек» сокращает время обработки.

Также в настоящее время стало актуально комбинировать методы получения трехмерных моделей. Совместная обработка данных лазерного сканирования и наземной фотограмметрической съёмки обеспечивает полный охват и максимизирует зону покрытия. Кроме того, благодаря сканированию с высоким разрешением и текстуре на изображениях это решение обеспечивает наилучшие результаты с точки зрения точности и уровня детализации.

## Литература

1. О Государственной программе «Культура Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 янв. 2021 г., № 53 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2021. – № 5/48756. – С.1–4.
2. Беккер Р., Бенинг В., Эфкеман К. Комбинированная оценка данных лазерного сканера и фотограмметрических снимков // *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. – 2004. – № 129. – С. 347-355.
3. Михайлов, А.П. Фотограмметрия : учебник для вузов / А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев; под общ. ред. А.Г. Чибуничева. – М. : Изд-во МИИГаик, 2016. – 294 с.

4. Скрыпичина, Т.Н. Лабораторный практикум по дисциплине «Наземная фотограмметрия» и «Основы архитектурной фотограмметрии» : учебное пособие / Т.Н. Скрыпичина, С.Б. Макаров. – М. : МИИГАиК, 2017. – 76 с.