

ПОСТРОЕНИЕ ПЛОТНОГО ОБЛАКА ТОЧЕК ПО ДАННЫМ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СЪЁМКИ ПРОИЗВОЛЬНОГО МАСШТАБА

Мацневич Ксения Александровна, ст. преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь,
inggeod@bntu.by

***Аннотация:** В 2021 году Борисовским райисполком было принято решение о реконструкции объекта историко-культурного наследия Республики Беларусь – водонапорной башни гиперболической формы, построенной по проекту выдающегося советского инженера В. Г. Шухова. Так как состояние башни требовало полного капитального ремонта, для разработки проекта реконструкции потребовалось создание подробной трёхмерной цифровой модели водонапорной башни и близлежащей к ней местности. Для получения цифровой модели были выбраны два наиболее подходящих метода съёмки ситуации: наземное лазерное сканирование и фотограмметрическая съёмка. При обработке полученных облаков точек в специализированном программном продукте возникла проблема с масштабированием фотограмметрической модели в случае нестабильного соединения GPS-системы со спутниками на используемом для фотограмметрической съёмки оборудовании. В данной статье описан способ приведения фотограмметрической модели произвольного масштаба к единому с наземным лазерным сканированием масштабу для дальнейшего построения общего плотного облака точек, пригодного для проектировочных работ.*

***Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование; облако точек; фотограмметрическая съёмка; фотограмметрическая модель.*

На правом берегу города Борисова в Минской области, в далёком 1927 году была возведена водонапорная башня гиперболоидной формы, получившая название “Шуховская башня” (рис.1). Водонапорная башня была построена по проекту известного

российского инженера Владимира Шухова. Таких уникальных гиперболоидных построек из двухсот возведённых во всём мире осталось всего одиннадцать, две из которых сохранились на территории Беларуси до наших дней. Ещё одна башня находится недалеко от железнодорожной станции “Коханово”, в деревне Звенячи Толочинского района Витебской области.



Рис. 1. Общий вид Шуховской башни в г. Борисов, Минская область

Основной задачей Шуховской башни было снабжение водой проходящих через город Борисов паровозов. Довоенным составам требовалось достаточно много воды, поэтому подобные башни строились по всему пути следования. Возводить кирпичные вышки было долго и дорого, и тогда выдающийся советский инженер и изобретатель Владимир Шухов нашёл решение: заменить их гиперболоидными металлическими конструкциями. Оригинальность мысли заключалась в том, что криволинейная фигура выполнялась

исключительно из скреплённых заклёпками прямолинейных металлических деталей, что позволяло экономить строительный материал, не теряя прочности всей конструкции [1, с.42–43].

В 2011 году водонапорная башня в Борисове была взята под охрану и включена в государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. Так как Шуховская башня требовала капитального ремонта всех её частей, начиная от подвального помещения и фундамента, заканчивая деревянным куполом со смотровой площадкой, в 2021 году Борисовским райисполкомом было принято решение о создании проекта её реконструкции. В качестве исполнителя предпроектных инженерно-изыскательских работ выступила компания ЧТУП “Главтелеком”, специализирующаяся на внедрении BIM-технологий в строительство. Для выполнения поставленной перед подрядчиком задачи – создании трёхмерной модели для подробной визуализации водопорной башни и близлежащей к ней территории, – были выбраны два наиболее подходящих метода съёмки ситуации: наземное лазерное сканирование (НЛС) и фотограмметрическая съёмка.

При выполнении НЛС применялся наземный лазерный сканер Faro Focus s70. Радиус действия данного прибора – 70 метров, скорость сканирования – один миллион точек в секунду, максимальное разрешение – 40960x17068 точек, точность сканирования – до 1 мм на весь радиус действия. Фотограмметрические работы выполнялись с использованием дрона DJI Mavic Air. На дроне установлена камера модели FC2103 с разрешением 4056x2280 пикселей на дюйм.

Сканирование объекта производилось в цветном режиме, с расстоянием до 30 метров от объекта, с заданным разрешением 10240x4267 точек. Так как вблизи объекта много различной геометрии и заказчик не требовал привязку модели к определенной системе координат, было достаточно сканирования без применения дополнительных средств – шахматок и сфер. Точки стояния прибора располагались на небольших расстояниях друг от друга, так как из-за соображения безопасности сканирование внутри объекта не производилось, но было необходимо тщательно отсканировать все внутренние элементы несущей конструкции. Обычно на объектах таких размеров и форм выполняют до 5–8 сканов. В общей

сложности при сканировании Шуховской башни было получено 16 сканов, но даже такое их количество не позволило с достаточной плотностью отсканировать её куполообразную крышу из-за высоты.

Для съёмки крыши применили фотограмметрический способ. Так как объект небольших размеров и требовалась только внутренняя сходимость, было принято решение не использовать опорные пункты, а сделать большое количество фотографий с разных ракурсов. Съёмка велась с высоты менее 50 метров и на расстоянии 10 метров от крыши башни. Всего было получено 85 фотографий. Все фотографии были успешно импортированы в Agisoft Metashape Professional. После импорта фотографий выполнялось выравнивание фотографий и создание разреженного облака точек (ОТ), а затем плотного облака точек (рис.2, а). Полученное ОТ экспортировалось в формат *.las для дальнейшего импорта в программу Faro Scene и объединения с ОТ, полученного путём сшивки сканов наземного лазерного сканирования.

Сшивка сканов НЛС производилась в программе Faro Scene. Все сканы после импорта прошли процедуру процессинга, во время которой со сканов удаляются некоторые шумы и чёрные точки, а также восстанавливается цвет всех имеющихся точек. Благодаря большому количеству различной геометрии на объекте такой, как дома и заборы, а также сама Шуховская башня, сшивка проходила полностью в автоматическом режиме. Средняя погрешность сшивки получилась менее 4 мм. После сшивки запускался модуль очистки двигающихся объектов, чтобы убрать прошедших мимо людей и проезжавшие машины. Затем выполнялось прореживание дублирующихся точек и создание облака точек проекта (рис.2, б).



Рис. 2. Результат создания облаков точек

- а) – фотограмметрическое облако точек,
 б) – облако точек наземного лазерного сканирования

После этого всё было готово к объединению НЛС с фотограмметрией. Для этого в Scene создали два кластера. В один поместили ОТ со сканера, в другой - фотограмметрию. На облаках точек в каждом кластере назначались шесть одинаковых точек, пять из которых назывались одинаково (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5) в обоих кластерах, а шестые по-разному – для проверки качества сшивки. По результатам объединения двух ОТ стало понятно, что фотограмметрическая модель получилась произвольного масштаба. По повторному анализу исходных данных в Agisoft Metashape стало понятно, что во время съёмки с дрона связь GPS (Global Positioning System) со спутниками прерывалась, что повлияло на масштаб модели.

Для приведения фотограмметрической модели к единому с НЛС масштабу измерили расстояние между двумя противоположными сторонами купола башни на обоих облаках точек, нашли отношение расстояний друг к другу и вывели коэффициент масштаба. Затем с помощью инструмента масштабирования в Agisoft Metashape отредактировали масштаб полученного ранее фотограмметрического облака точек, умножив на полученный в предыдущем этапе коэффициент.

Затем вновь экспортировали в Scene и повторили процедуру с шестью точками. На сей раз совпадение фотограмметрической модели с НЛС было достаточно велико, чтобы считать полученное общее плотное облако точек (рис.3) готовым к передаче заказчику и разработке проекта реконструкции Шуховской башни.



Рис.3. Общее плотное облако точек Шуховской водонапорной башни г. Борисова

Литература

1. Металлические конструкции академика В. Г. Шухова / отв. Ред. В. П. Мишин; АН СССР, Ин-т истории естествознания и техники, Комис. по увековечиванию памяти В. Г. Шухова. – М.: Наука, 1990. – 106 с.