

## ТЕХНОЛОГИЯ НАЗЕМНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

*Х.М. ШОКЕР*

*(Ливанский международный университет, Бейрут, Ливан)*

Внедрение в жизнь технологии лазерного сканирования позволяет получать 3D-модели объектов с довольно высокой детализацией. Вместе с тем ввиду относительно недавнего внедрения в геодезическую практику, а тем более для целей фиксации памятников, практически отсутствуют детальные рекомендации по его применению и оценке точности. Съёмочная сеть должны удовлетворять определенным требованиям, таким как точность положения точек, предельные диапазоны сканирования, полное покрытие точками лазерных отражений (ТЛО) всего объекта. В этой связи в статье приведена разработка съёмочного обоснования НЛС для крупномасштабной съёмки. Рассматривается весь цикл съёмки: от проектирования опорной сети, до оценки точности (ТЛО). Результаты исследований приурочены к объекту всемирного культурного наследия: южной стены храма Юпитера в храмовом комплексе Баальбек в Ливане.

**Методика.** Путем моделирование съёмочной сети с использованием метода наименьших квадратов были выполнены расчеты и определены средние апостериорные СКП положения съёмочных точек. При этом смоделированы четыре исходные пункта и пять съёмочных точек. Следующим шагом было обеспечение средств контроля и повышения точности НЛС в виде создания контрольных точек на самом изучаемом объекте (стена замка Баальбек). Координаты контрольных точек, закрепленных на стене в виде пленочных отражателей, определялись измерениями тахеометром Topcon OS-105. Сначала по методике, описанной выше, определены координаты съёмочной сети, состоящей из 8 точек, расположенных перед стеной. Далее определены координаты 27 контрольных точек, закрепленных на стене. Показано, что при использовании 3 станций можно получить субмиллиметровую точность контрольных точек, которая соответствует стандарту (ГОСТ Р 56891.2-2016).

**Оценка точности НЛС.** Лазерное сканирование поверхности стены проводилось путем последовательной установки сканера Leica P30 на каждой из 8 точек съёмки. По результатам проведенных натурных измерений и их обработке можно при решении конкретной задачи выделить диапазон углов сканирования, обеспечивающий требуемую точность.

**Определение оптимального местоположения лазерного сканера.** Разработан оригинальный подход к автоматизированному (программному) планированию оптимального размещения сканера при фиксации памятника культурного наследия. Для расчета параметров кандидата требуются следующие данные и ограничения: точность положения съемочной станции, требуемое перекрытие между каждыми двумя соседними станциями сканирования (сектор съемки), паспортная точность используемого устройства. Процесс расчета начинается с вычисления максимального расстояния. Второй шаг начинается с вычисления координат мест расположения сканера. В заключительном шаге выполняется оптимизация числа станций сканирования. Проверка эффективности отмеченного подхода выполнена на примере памятника культурного наследия мирового значения храма Юпитера. В результате для съемки Храма Юпитера потребовалось 32 станции.

**Заключение.** Предложена методика фиксации памятников культурного наследия на основе технологии наземного лазерного сканирования. На примере памятника культурного наследия мирового значения храма Юпитера показан весь процесс технологии: от создания опорной сети до оценки точности точек лазерных отражений и моделирования мест расположения съемочных станций. Кроме того, разработана методика трехмерной оптимизации расположения станций сканирования, реализованная в программном виде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин Д.А. Опыт применения наземного лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений / Д.А.Афонин, Н.Н.Богомолова, М.Я.Брынь, А.А.Никитчин // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81 – № 4. – С. 2–8. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-958-4-2-8.
2. Мустафин М.Г. Оценка влияния линейно-угловых параметров лазерно-сканирующей съемки на точность построения модели объекта / М.Г.Мустафин, Х.М.Шокер // Маркшейдерский вестник. – Москва. – 2020. – Т. 139 – № 6. – С. 42–50.
3. Kaasalainen S. Analysis of incidence angle and distance effects on terrestrial laser scanner intensity: Search for correction methods / S.Kaasalainen, A.Jaakkola, M.Kaasalainen, A.Krooks, A.Kukko // Remote Sens., 2011, 3, pp. 2207–2221.
4. Mozaar M. Optimal placement of a terrestrial laser scanner with an emphasis on reducing occlusions / M.Mozaar, M.Varshosaz // Photogramm. Rec., 2016, 31, pp. 374–393.