ИССЛЕДОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ НА СКЛОНАХ ГОРНЫХ МАССИВОВ

Исраилов Мансур Абдусаматович
ТГТУ, т.ф.н. PhD доц.
Холмуротов Исроил Исмоил ўғли
ТГТУ, ст.преп.
Қурбонов Ҳасан Алишерович
ТГТУ, базовый докторант

Аннотация: Применение технологий наземного лазерного сканирования при обследовании и контроле состояния гидротехнических тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях обеспечивает получение высокоточных трёхмерных моделей внутреннего очертания выработки. Использование сканера Riegl LMS-Z420i позволило повысить скорость и точность полевых измерений по сравнению с традиционными геодезическими методами. Лазерное сканирование обеспечивает детальный контроль деформаций горных пород и временного крепления, что повышает надёжность и безопасность проходческих работ. Полученные результаты подтверждают эффективность и перспективность применения метода при строительстве и мониторинге гидротехнических тоннелей.

Ключевые слова: Лазерное сканирование, гидротехнический тоннель, трёхмерная модель, геодезические измерения, мониторинг деформаций.

Annotatsiya: Murakkab muhandislik-geologik sharoitlarda joylashgan gidrotexnik tunnellarni tekshirish va ularning holatini monitoring qilishda yer osti lazerli skanerlash texnologiyalaridan foydalanish ichki chegara shaklining yuqori aniqlikdagi uch o‘lchamli modellarini olish imkonini beradi. Riegl LMS-Z420i skaneridan foydalanish an’anaviy geodezik o‘lchash usullariga nisbatan dala ishlarining tezligi va aniqligini sezilarli darajada oshirdi. Lazerli skanerlash tog‘ jinslari deformatsiyasi hamda vaqtinchalik mustahkamlash elementlarining holatini batafsil nazorat qilish imkonini berib, tunnellarni o‘tishda ishonchlilik va xavfsizlikni ta’minlaydi. Tadqiqot natijalari mazkur uslubning gidrotexnik tunnellarni qurish va monitoring qilish jarayonlarida samarali hamda istiqbolli ekanini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: Lazerli skanerlash, gidrotexnik tunnel, uch o‘lchamli model, geodezik o‘lchovlar, deformatsiyalar monitoringi.

Abstract: The application of terrestrial laser scanning (TLS) technologies for the inspection and condition monitoring of hydraulic tunnels located in complex engineering-geological environments enables the acquisition of highly accurate three-dimensional models of the tunnel’s internal geometry. The use of the Riegl

ISSN 3030-3907

LMS-Z420i scanner significantly improved the speed and precision of field measurements compared to traditional geodetic methods, a result consistent with findings reported in recent TLS-based monitoring studies. Laser scanning provides detailed assessment of rock mass deformation and temporary support behavior, thereby enhancing the reliability and safety of tunneling operations. The obtained results confirm the efficiency and strong potential of TLS methods for the design, construction, and continuous monitoring of hydraulic tunnels under challenging geological conditions.

Keywords: Laser scanning, hydraulic tunnel, three-dimensional model, geodetic measurements, deformation monitoring.

Введение

В последние годы использование техники наземного лазерного сканирования в инженерных изысканиях приобретает все больший интерес из-за преимуществ бесконтактности, скорости, высокой точности и большого масштаба. Этот метод обеспечивает получение миллионов точных трехмерных точек (точность уровня в миллиметрах) с очень высокой плотностью точек за короткое время (до 1 миллиона точек в секунду), что делает его ценным альтернативным или дополнительным методом для классических топографических измерений на основе тахеометра. или цифровая фотограмметрия. Наземное лазерное сканирование позволяет получать очень точные точки даже в ситуациях, когда другие топографические методы трудно или невозможно использовать.

Измерение с помощью тахеометра также является вариантом, но преимущество лазерного сканирования очевидно: вместо того, чтобы фокусироваться на довольно ограниченном количестве указанных точек, лазерное сканирование предоставляет миллионы трехмерных точек на полностью контролируемом участке тоннеля.

Для обеспечения безопасности, долгосрочной стабильности и контроля качества при современных проходках тоннелей требуется получение геотехнической информации о встречающихся горных породах и подробная информация об установленных опорах. Ограниченное пространство и время в рабочей среде тоннеля затрудняют сбор данных. Однако лазерное сканирование в тоннельной среде показывает большой потенциал.

Начальный этап съемочных работ включал в себя рекогносцировку местности и осмотр объекта съемки, в результате чего было выявлено приблизительное количество станций сканирования и пунктов съемочного обоснования, необходимых для привязки результатов сканирования к внешней системе координат.

Сканирование тоннеля выполнялось наземным лазерным сканером

ISSN 3030-3907

Riegl LMS-Z420i с 1 сканерных станций бригадой из двух человек. Данный сканерне имеет устройства для горизонтирования и ориентирования, поэтому внешнее ориентирование сканов в местную систему координат производилось с помощью специальных светоотражающих марок, координаты которых определялись при помощи электронного тахеометра Leica TS 10 с точек рабочего планово-высотного обоснования (ПВО). Средняя квадратическая ошибка определения координат марок сканером Riegl LMS-Z420i, составляет1,5 мм.

Непосредственно процесс съемки на станции можно условно разделить на следующие этапы:

1) Установка сканера, подготовка его к работе.

Установка и ориентирование тахеометра;

2) Расстановка сканерных марок (рабочего ПВО).

Для создания рабочего ПВО на сканерной станции использовались 8 сканерных марок, располагаемых на расстоянии 20 – 40 м от сканера;

3) Координирование рабочего ПВО электронным тахеометром;

4) Выполнение сканерной съемки.

Сканирование пространства осуществлялось в пределах поля зрения сканера;

5) Координирование рабочего ПВО сканером.

На полученном в результате сканирования растровом изображении каждый пиксель которого раскрашен в зависимости от интенсивности отраженного лазерного луча, интерактивно отмечалось местоположение светоотражающих марок, которые легко дешифрировались благодаря высокой отражающей способности. Далее производилось сканирование выбранных марок смаксимальным разрешением, после чего в программном обеспечении RiSCAN PRO, с использованием заложенного алгоритма, автоматически определялись координаты центров марок в системе координат скана.

Предварительная обработка результатов наземного лазерного сканирования заключалась в ориентировании сканов в местной системе координат и экспорте результатов в программное обеспечение Leica HDS Cyclone.

Для ориентирования сканов, координаты сканерных марок в местной системе координат, полученные при помощи электронного тахеометра, были переданы в программное обеспечение RiSCAN PRO. Данное программное обеспечение автоматически устанавливает соответствие между марками и их координатами, производит преобразование координат, полученных в процессе сканирования, в заданную систему и вычисляет значение средней

ISSN 3030-3907

квадратической ошибки единицы веса пространственного положения марок во внешней системе координат (standard deviation).

В дальнейшем ориентированные сканы переданы в программное обеспечение Leica HDS Cyclone. Создание чертежей внутреннего очертания тоннеля выполнялось в полуавтоматическом режиме и состояло из следующих процессов:

– Сегментирование, фильтрация и разряжение точечной модели для целиформирования профилей в автоматическом режиме;

– Построение чертежей внутреннего очертания тоннеля в автоматическомрежиме;

– Редактирование чертежей внутреннего очертания тоннеля.

Для создания триангулированной трехмерной модели (Mesh) выполнена обработка «облака» точек в программных продуктах RealWorks Survey фирмы Trimble и RapidForm фирмы Inus Technology с использованием специализированных фильтров и алгоритмов построения «Mesh». В результате из общего массива точек удалены точки не принадлежащие поверхности обкладки тоннеля. После фильтрации и разряжения плотность точечной моделисоставила 1 точку на 49 см^2.

Неделя спустя эксперимент повторился и выявлено деформация после цементационных работ. В результате экспериментальных исследований установлено, что полевые работы по съемке внутреннего тоннеля средствами наземного лазерного сканирования выполняются значительно быстрее, чем традиционным инструментарием. При этом объем и детальность получаемой информации значительно больше относительно классических методов.

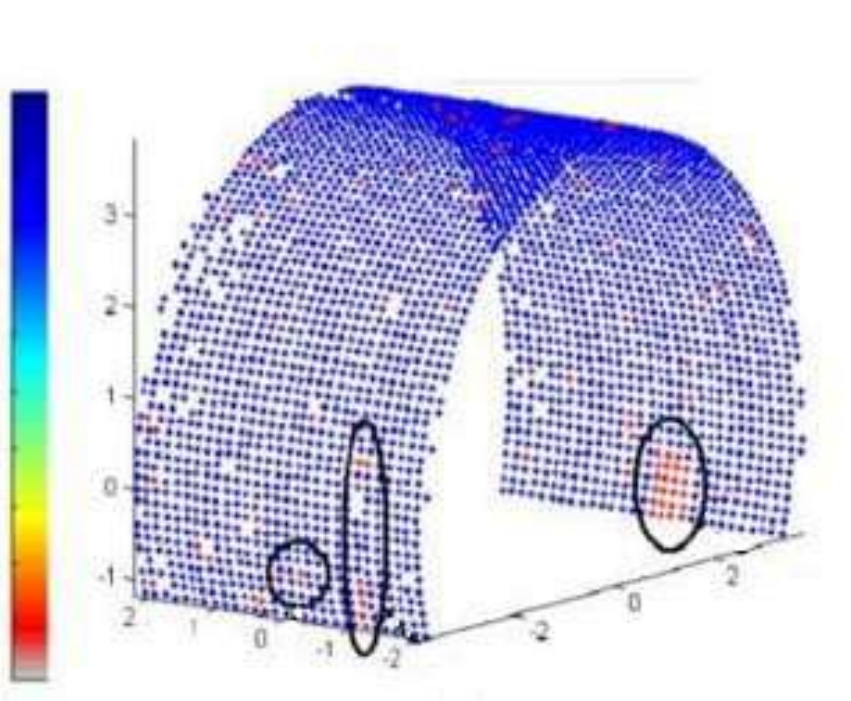


Рис.1. Результаты сканирования

ISSN 3030-3907

Выводы

Применение технологий наземного лазерного сканирования при проходке гидротехнических тоннелей в горных массивах обеспечивает получение высокоточных трёхмерных моделей внутреннего контура выработки и способствует повышению качества инженерно-геодезического контроля.

Использование сканера Riegl LMS-Z420i и специализированного программного обеспечения (RiSCAN PRO, Leica Cyclone, RealWorks Survey, RapidForm) позволило обеспечить пространственную точность на уровне 1,5 мм, что соответствует требованиям современного геотехнического мониторинга.

По сравнению с традиционными методами тахеометрической съёмки лазерное сканирование обеспечивает в 3–5 раз более высокую производительность и предоставляет значительно больший объём информации о геометрии и состоянии тоннеля.

Анализ повторных измерений показал возможность выявления минимальных деформаций после цементационных работ, что открывает перспективы для применения лазерного сканирования в системах оперативного мониторинга устойчивости подземных сооружений. Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал метода для дальнейшего внедрения в практику проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических тоннелей в сложных геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТЭО Строительство Пскемской ГЭС на реке Пскем в Бостанлыкском районе Ташкентской области. Том 1. Техническая часть. Общая пояснительная записка № 1921-Т1. Тошкент 2020.

2. Баранов, А.Н. Геодезия в тоннелестроении, часть I / А.Н. Баранов, К.И. Егунов, Е.И. Зельцер и др. / М.: Изд-во геодезической и картографической литературы, 1952. - 503 с.

3. Лиманов, Ю.А. Содержание и реконструкция тоннелей. / Ю.А. Лиманов, В.А. Подчекаев, Н.М. Корольков и др.- М.: Транспорт, 1976.- 192 с.

4. Г. А. Шетлер. Альбом по буровзрывным работам / Г. А. Шетлер, Л. М. Фейгин, Е. М. Зинченко. – Москва : Углетехиздат, 1953. – 93 с.

5. М.Ф. Друкованый, Л.В. Дубнов, Э. О. Миндели, К. И. Иванов, В. И. Ильин. Справочник по буровзрывным работам. Москва : Недра, 1976.

ISSN 3030-3907