

УДК 528:627.8:004.94
DOI 10.17513/use.38094

СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПЛОТИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ BIM (ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ)

Наануа Юсеф, Васютинская С.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», Москва,
e-mail: eng.yousefnaanouh@gmail.com, st.vass@yandex.ru

Данная статья представляет собой всестороннее и информативное исследование использования наземного лазерного сканирования для обследования большой плотины, расположенной на озере Караун в Ливане. Она подробно описывает каждый этап процесса сбора данных, применяемых для плотины. Трехмерная модель была создана с особой тщательностью, а ее точность была подтверждена с помощью контрольных точек, расположенных на каждом блоке плотины. Эти точки точно измерены с использованием тотальной станции. Особое внимание уделяется значимости создания точной трехмерной модели с применением технологии моделирования зданий – Building Information Model (BIM), что вносит значительный вклад в будущее управление и мониторинг плотины. С использованием технологии BIM плотина может эффективно контролироваться на протяжении длительного времени, при этом будет обеспечена ее структурная целостность и надежность. Полученные результаты исследования предоставляют ценную практическую информацию для проектирования и эксплуатации плотин, способствуя развитию техник обследования для крупномасштабных инфраструктурных проектов, сохранению целостности конструкций, жизни населения, фауны и природной среды. Общий вывод состоит в том, что использование наземного лазерного сканирования и технологии BIM является эффективным подходом к обследованию и мониторингу крупных плотин, что способствует их надежности и безопасности в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: крупная плотина, деформация, мониторинг, 3D-модель, лазерное сканирование, тахеометр, BIM, облака точек

CREATING AN ACCURATE 3D MODEL FOR MONITORING DAM USING BIM TECHNOLOGY (BUILDING INFORMATION MODEL)

Naanouh Yousef, Vasyutinskaya S.I.

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow,
e-mail: eng.yousefnaanouh@gmail.com, st.vass@yandex.ru

This article is a comprehensive and informative study of the use of ground-based laser scanning to survey a large dam located on Lake Qaraoun in Lebanon. It describes in detail each stage of the data collection process used for the dam. The three-dimensional model was created with great care, and its accuracy was confirmed with the help of control points located on each block of the dam. These points are accurately measured using a total station. Particular attention is paid to the importance of creating an accurate three-dimensional model using building modeling technology (BIM), which makes a significant contribution to the future management and monitoring of the dam. With the use of BIM technology, the dam can be effectively monitored for a long time, while ensuring its structural integrity and reliability. The obtained research results provide valuable practical information for the design and operation of dams, contributing to the development of survey techniques for large-scale infrastructure projects, preservation of the integrity of structures, the life of the population, fauna and the natural environment. The general conclusion is that the use of ground-based laser scanning and BIM technology is an effective approach to the inspection and monitoring of large dams, which contributes to their reliability and safety in the long term.

Keywords: large dam, deformation, monitoring, 3D model, laser scanning, total station, BIM, point clouds

Плотина озера Караун (рис. 1) является одной из старейших и крупнейших плотин Ливана. Мониторинг плотины озера Караун очень важен, поскольку ее повреждение может привести к учащению опасных и аварийных ситуаций. Повреждения на плотине озера Караун несут угрозу в результате возникновения волны прорыва, приводящей к серьезным разрушениям инфраструктуры, природной среды, к человеческим жертвам. Урон от аварий может быть значительным, сравнимым с последствиями природных катаклизмов.

Крайне важно осуществлять мониторинг крупных плотин, поскольку эти гидротехнические сооружения оказывают большое влияние на территорию, на которой они построены. К счастью, в последние десятилетия передовые вычислительные технологии позволяют создавать точную математическую модель статических и динамических проблем, связанных с плотинами. Фотографические методы, как показывает практика, не всегда дают точные результаты, что может привести к возникновению значительных ошибок. Лазерное сканиро-

вание является достаточно эффективным методом обследования, в то же время позволяющим значительно снизить финансовые затраты. Съемка плотины осуществляется с помощью лазерного сканера, который позволяет быстро производить съемку (сканирование) плотины и строительных конструкций. Данные, полученные по результатам произведенного лазерного сканирования, очень полезны для современного мониторинга плотин.

Озеро Караун – это искусственное озеро, или водохранилище, расположенное в южной части долины Бекаа в Ливане, было создано в 1959 г. Озеро располагается недалеко от деревни Камерун. Оно было создано путем строительства плотины длиной 1 км из каменной насыпи высотой 61 м с бетонным покрытием. Плотина озера Караун расположена в среднем течении реки Литани, которая является самой длинной рекой в Ливане. Водоохранилище, полученное при строительстве плотины на озере Караун, используется для выработки гидроэнергии (190 МВт или 250 000 л.с.), бытового водоснабжения и для орошения 27 500 га (68 000 акров).

Годовой сток поверхностных вод в реке Литани, поступающих в озеро Караун, составляет $420 \times 106 \text{ м}^3$ ($15 \times 109 \text{ фут}^3$). Этот поток используется для выработки гидроэлектроэнергии на трех гидроэлектростанциях в Маркабе, Авали и Джу-не общей установленной мощностью 190 МВт (250 000 л.с.). В сухой сезон $30 \times 106 \text{ м}^3$ ($1,1 \times 109 \text{ фут}^3$) воды отводятся с электростанции Маркаба для удовлетворения потребностей орошения в Кассмие. Озеро Караун также является местом оби-

тания примерно 20 000 перелетных птиц, которые посещают его ежегодно [1].

Создание геодезической сети имеет решающее значение для мониторинга стабильности и исправности плотины Караун. Мониторинг предоставляет точную и достоверную информацию о местоположении плотины, измеряет изменения высоты и смещения и позволяет разработать систему раннего предупреждения. Полученные данные также позволяют выявить участки, требующие технического обслуживания или ремонта, что в конечном итоге продлит срок службы плотины [2]. Кроме того, геодезическая сеть имеет решающее значение для настройки лазерного сканирующего прибора при мониторинге плотины, поскольку она обеспечивает стабильную систему отсчета для точных и надежных измерений [3].

Материалы и методы исследования

Плотина Караун расположена в регионе сложного взаимодействия тектонических плит вдоль системы разломов Мертвого моря, образуя северо-западную часть границы между Африканской плитой на западе и Аравийской плитой на востоке (рис. 2). Эти разломы образовали хребты, на которых расположены горы Ливана – Хермон и Антиливанские холмы. В связи с тем, что плотина находится в сейсмоопасном районе, исследования деформаций или перемещений на плотине очень востребованы [4].

Лазерное сканирование является достаточно эффективным методом обследования. Съемки осуществляются с помощью лазерного сканера, который позволяет быстро производить сканирование ландшафтов и сооружений [5].



Рис. 1. Плотина Караун

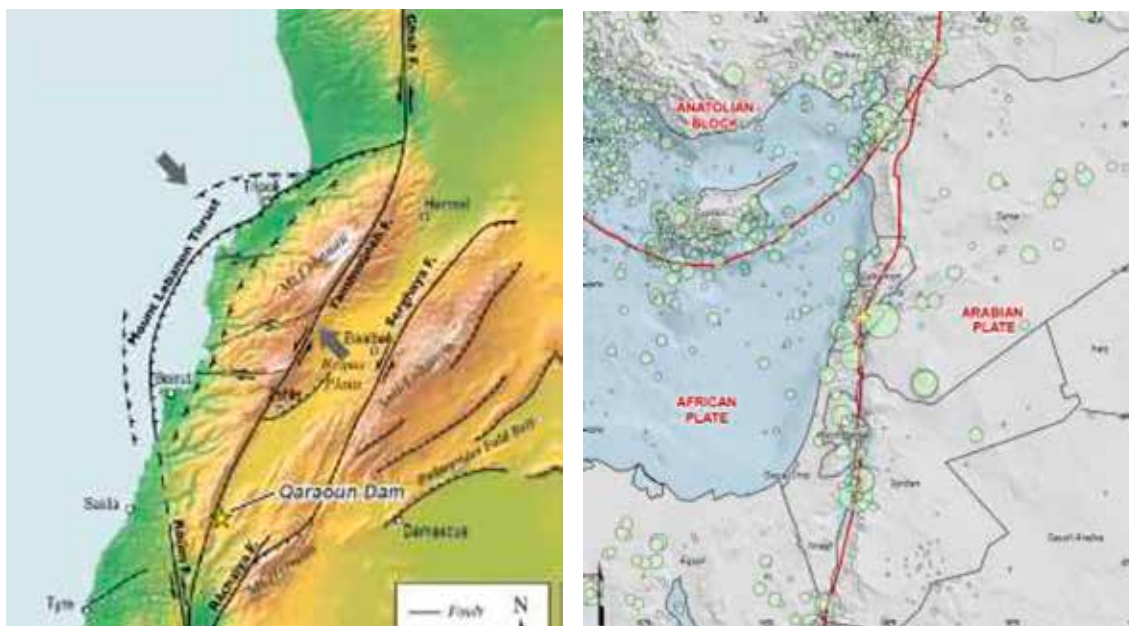


Рис. 2. Карты региона, окружающего плотину Караун



Рис. 3. Рабочий процесс мониторинга плотины Караун

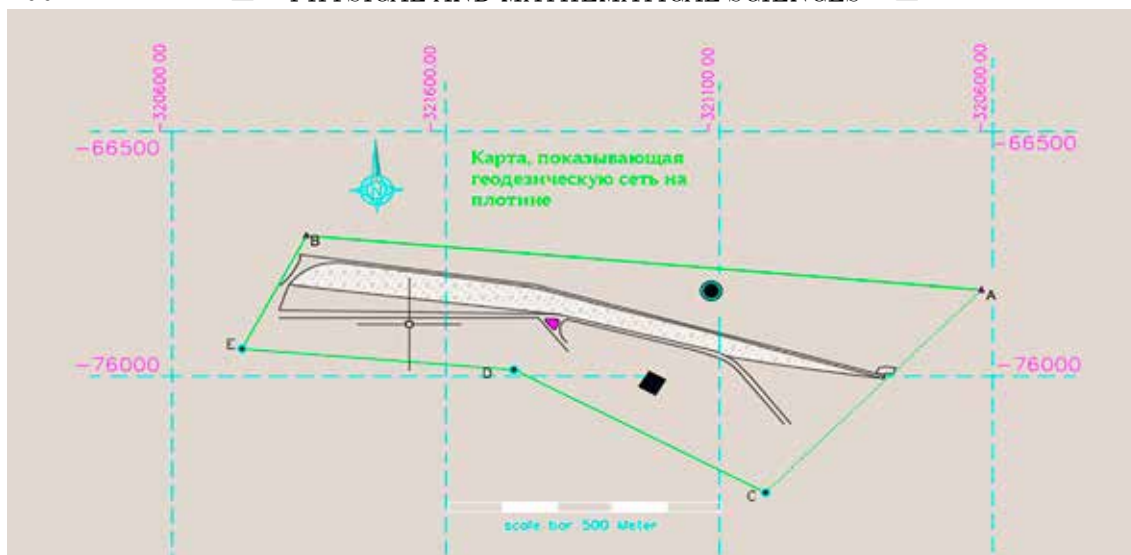


Рис. 4. Геодезическая сеть вокруг плотины Караун

Методология исследования для создания точной 3D-модели плотины с использованием лазерного сканирования и технологии BIM включает в себя сбор подробных данных облака точек плотины с помощью лазерного сканирования. Собранные данные обрабатываются для создания унифицированной модели облака точек, которая затем импортируется в программное обеспечение BIM для построения комплексной 3D-модели. Для точного представления используются географические привязки и системы координат, а строгие процедуры проверки обеспечивают точность модели.

Метод лазерного сканирования основан на измерении времени прихода лазерного луча, посылаемого 3D-сканером в сторону объекта (в данном случае плотины), отраженного от его поверхности и улавливаемого фотоприемником. К тому же 3D-сканеры относительно легкие и компактные, что важно при мониторинге состояния больших объектов.

Современный мониторинг плотины Караун начался в два этапа. На первом этапе создавалась геодезическая сеть с использованием тахеометра. На втором этапе создавались точки сканирования для лазерного сканера с использованием GPS и запускался процесс сканирования. Данные, полученные в результате лазерного сканирования, представляются в виде облака точек, которое может быть использовано в информационной модели после проверки результата с учетом целевых измерений тахеометра. Положения контрольных точек на корпусе плотины измеряют с помощью лазерного

сканера и тахеометра в два этапа. Общий рабочий процесс полевой и камеральной работы показан на рис. 3.

На рис. 4 показана геодезическая сеть, построенная вокруг плотины. Измерение положения точек сети, окружающих плотину, включая A, B, C, D, E и F, выполняется с помощью тахеометра SokkiaFx-101.

Дополнительно использован тип наземных контрольных точек. Все эти контрольные точки состоят из мишеней, окрашенных в черно-белый цвет с желтой точкой в центре и прямоугольников размером 17x17, закрепленных на бетонной поверхности плотины (рис. 5).



Рис. 5. Наземная контрольная точка, нарисованная на поверхности плотины

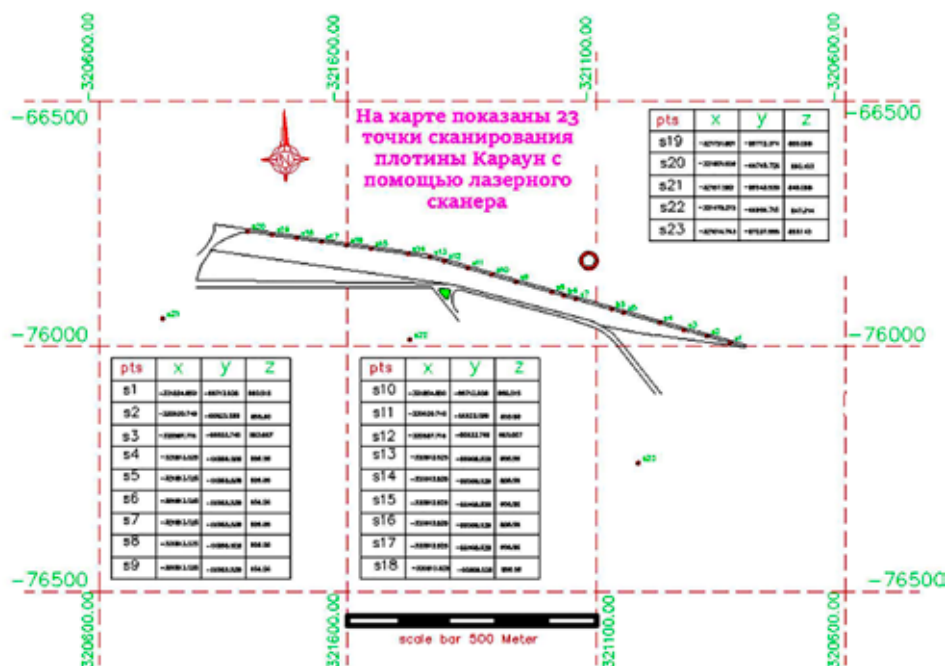


Рис. 6. Станции сканирования плотин с географической координатой

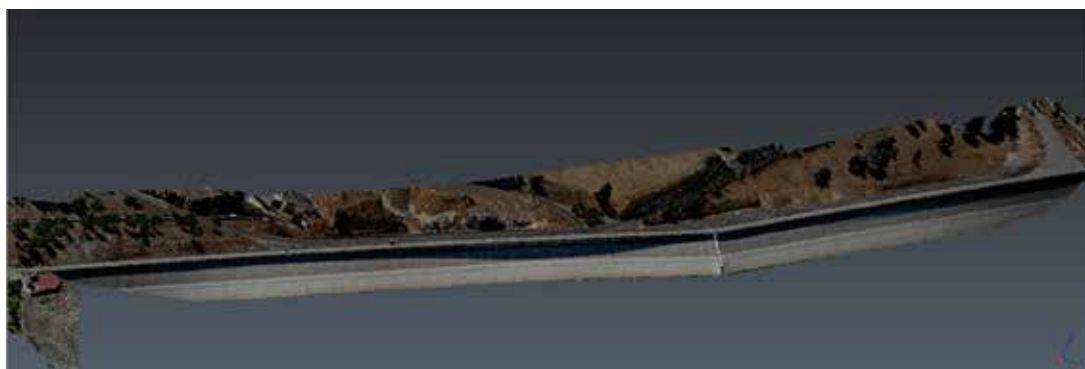


Рис. 7. Создание точной 3D-модели из облака точек (контрольных), полученного с помощью лазерного сканера

При мониторинге положения контрольных точек лазерная сканирующая съемка осуществляется на внешней поверхности плотины озера Караун, за исключением тех контрольных точек, которые покрыты водой. Для получения данных было установлено 20 основных контрольных точек сканирования, как показано на рис. 6.

Лазерное сканирование проводится с помощью лазерного сканера, оснащенного станцией сканирования P30 Leica. Горизонтальный обзор этого сканера является панорамным (360°), вертикальный обзор ограничен 290°. Точность одного измерения дальности 1,2 мм + составляет

10 ppm по всему диапазону, угловая точность 8" по горизонтали; точность вертикального 3D-положения наземных контрольных точек составляет 3 мм на 50 м; 6 мм на 100 м.

Кроме того, лазерный сканер имеет разрешение внутренней камеры 4 МП на каждое цветное изображение 17×17 и 700 МП для панорамного изображения [6].

После завершения всех операций сканирования отсканированные данные собраны воедино. После того как облако точек было очищено и сегментировано, следующим шагом стало создание точной 3D-модели из облака точек, что указано на рис. 7.



Рис. 8. Преобразование модели лазерного сканера в BIM-модель (Building Information Model, или Информационная модель здания)

BIM-модель плотины Караун была создана на основе облака точек, полученного с помощью лазерного сканера и нарисованного в Revit Autodesk. Облака точек имеют решающее значение для создания точных BIM-моделей, поскольку они предоставляют высокодетализированные и точные данные о состоянии плотин (рис. 8). Использование облаков точек для создания BIM-модели для плотины Караун может повысить эффективность, точность, визуализацию и работу на протяжении всего процесса проектирования и строительства. Точная информация, предоставляемая облаками точек, необходима для мониторинга деформации в каждом блоке плотины. Кроме того, облака точек могут создавать реалистичные 3D-визуализации, позволяя заинтересованным сторонам лучше понять процесс проектирования и строительства.

Заключение

Данное исследование подчеркивает важность создания точной 3D-модели плотины Караун в Ливане с использованием лазерного сканирования и проверки точности с помощью тотальной станции. Эта модель играет ключевую роль в будущих приложениях информационного моделирования зданий, позволяя анализировать сценарии, связанные с землетрясениями или повышенным давлением воды, и принимать обоснованные

решения по снижению рисков и готовности к чрезвычайным ситуациям. Кроме того, построенная модель обеспечивает постоянный мониторинг и обнаружение деформаций конструкции. Как уже было сказано, это позволяет своевременно реагировать и принимать необходимые меры для обеспечения безопасности и стабильности плотины. Сочетание лазерного сканирования и технологии BIM предоставляет мощные инструменты для эффективного управления и мониторинга плотины, повышая безопасность, надежность и устойчивость инфраструктуры.

Список литературы

1. USAID. Litani river basin management support program. [Электронный ресурс]. URL: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00JSS8.pdf (дата обращения: 29.07.2023).
2. Scaioni M., Marsella M., Crosetto M., Tornatore V., Wang J. Geodetic and Remote-Sensing Sensors for Dam Deformation Monitoring // Journal Sensors. 2018. Vol. 18 (11). DOI: 10.3390/s18113682.
3. Tang H., Chen R., Liu Y., Chen Y., Monitoring of a concrete dam based on laser scanning and geodetic network // Journal of Earth Science. 2020. № 9. P. 480–491. DOI: 10.3390/su15032649.
4. Phalen J.D., Makdisi F.I., Hu J., Viala E., Amacha N. Risk of seismic deformation of a 1960's Rockfill dam in Lebanon // Researchgate.net. 2014. № 8. DOI: 10.4231/D3KS6J51Z.
5. Кайратов Д.А., Нурпеисова М.Б. Опыт использования лазерного сканирования в строительстве // Молодой ученый. 2023. № 1.1 (448.1). С. 45–49.
6. Leica ScanStation P40/P30 – High-Definition 3D Laser Scanning Solution. [Электронный ресурс]. URL: <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p40-p30> (дата обращения: 31.07.2023).