

*Р. Р. Ханнанов<sup>1\*</sup>*

## **Лазерное сканирование для определения деформаций насыпных дамб**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: khannanov\_rustem@mail.ru

**Аннотация.** Для определения состояния устойчивости ограждающей дамбы № 1 золоотвала ТОО «ГРЭС Топар» был разработан проект геодезического мониторинга. Методика проведения геодезических наблюдений основана на применении наземного лазерного сканирования. Принцип методики наблюдения заключается в сравнительном анализе двух облаков точек одного и того же участка насыпной дамбы, сделанных в разные циклы измерений. Особенность данного метода заключается в том, что деформации определяются не точечными измерениями, а целыми участками скана, по которым определяется локация и площадь возможных деформаций. Также определен диапазон линейных отклонений между сканами, характерными для грунтовых поверхностей. Этот диапазон характеризует отклонение условных поверхностей облаков точек. Именно это отклонение позволяет предполагать о возможных деформациях.

**Ключевые слова:** дамба, геодезический мониторинг, наземное лазерное сканирование

*R. R. Khannanov<sup>1\*</sup>*

## **Laser scanning to determine the deformations of bulk dams**

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: khannanov\_rustem@mail.ru

**Abstract.** To determine the state of stability of the enclosing dam No. 1 of the ash dump of «GRES Topar» LLP, a geodetic monitoring project was developed. The methodology of geodetic observations is based on the use of ground-based laser scanning. The principle of the observation technique is a comparative analysis of two point clouds of the same section of the bulk dam made in different measurement cycles. The peculiarity of this method is that deformations are determined not by point measurements, but by whole sections of the scan, which determine the location and area of possible deformations. The range of linear deviations between scans characteristic of ground surfaces is also determined. This range characterizes the deviation of the conditional surfaces of point clouds. It is this deviation that allows us to assume possible deformations.

**Keywords:** dam, geodetic monitoring, ground laser scanning

### ***Введение***

Цифровые технологии, связанные с моделированием объектов различного назначения, нашли свое практическое применение во всех областях науки и производства: кино, дизайн, архитектура, медицина и др. Активно эти технологии начали применяться и в геодезии. В частности, представление геопространственных данных в трехмерном цифровом виде применяется в мониторинге за состо-

янием инженерных сооружений, проведении топографической съемки, инспектировании строительных объектов и их конструктивных элементов. Такие технологии связаны с применением наземных лазерных сканеров, которые являются высокоточными приборами сбора геопространственных данных. Результатом сбора данных является массив точек, по которому производится дальнейшая обработка и анализ полученных данных об объекте наблюдения (объекте съёмки, объекте инспектирования) [1-4].

Далее будет рассмотрено применение метода наземного лазерного сканирования при геодезическом наблюдении за состоянием насыпной дамбы №1 ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар».

### *Методы и материалы*

Традиционные методы геодезических измерений предоставляют наиболее полную информацию о распределении деформационных процессов. Они основаны на определении координат рабочих реперов наблюдательных станций, расположенных согласно проектной документации, и количественной оценке состояния объекта исследования по фиксированным смещениям [5, 6]. Однако существуют современные методы геодезических наблюдений, к которым относится наземное лазерное сканирование, которое позволяет получить трехмерную точечную модель исследуемого объекта.

Наземное лазерное сканирование, в основе которого лежит принцип сканирования объекта в целом, а не съемка отдельных точек, как при использовании электронных тахеометров, характеризуется как сканирующая система. Результатом наземного лазерного сканирования является точечная модель, которая имеет пять основных характеристик: пространственные координаты ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), интенсивность отражения сигнала и фактический цвет сканируемого объекта [7-10].

Для геодезического наблюдения за состоянием устойчивости насыпной дамбы на золоотвале ТОО "Главная распределительная энергостанция Топар" применялась наземная сканирующая система Leica ScanStation 2 [11-13], позволяющая производить измерения в радиусе 300 м с максимальной погрешностью до 6 мм.

Геодезическим обоснованием для лазерного сканирования является сеть опорных пунктов, расположенных вокруг исследуемого объекта, координаты которых предварительно определены по спутниковым измерениям. Станции сканера выбираются на основе перекрытия облаков точек, геометрии плотины, для обеспечения целостности, точности и полноты результатов при полевом исследовании. Геопространственные данные, полученные методом наземного лазерного сканирования, представляют собой большой массив точек (от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов) образующих облако точек (рис. 1). Эти данные позволяют производить моделирование объекта, который был ранее отсканирован, в следствии чего получается его цифровой «двойник» [14-16].

Суть исследовательской работы заключалась в том, чтобы произвести сравнение двух облаков точек одного и того же участка дамбы, в одной системе ко-

ординат, но сделанных в разный период времени для определения смещений и деформаций тела гидротехнического сооружения. В сравнении использовались данные двух циклов измерений. В связи с этим, было проведено сканирование одного участка дамбы №1 в два цикла – 8 августа и 25 сентября 2022 года. Сканы были привязаны к уже созданной опорной сети.

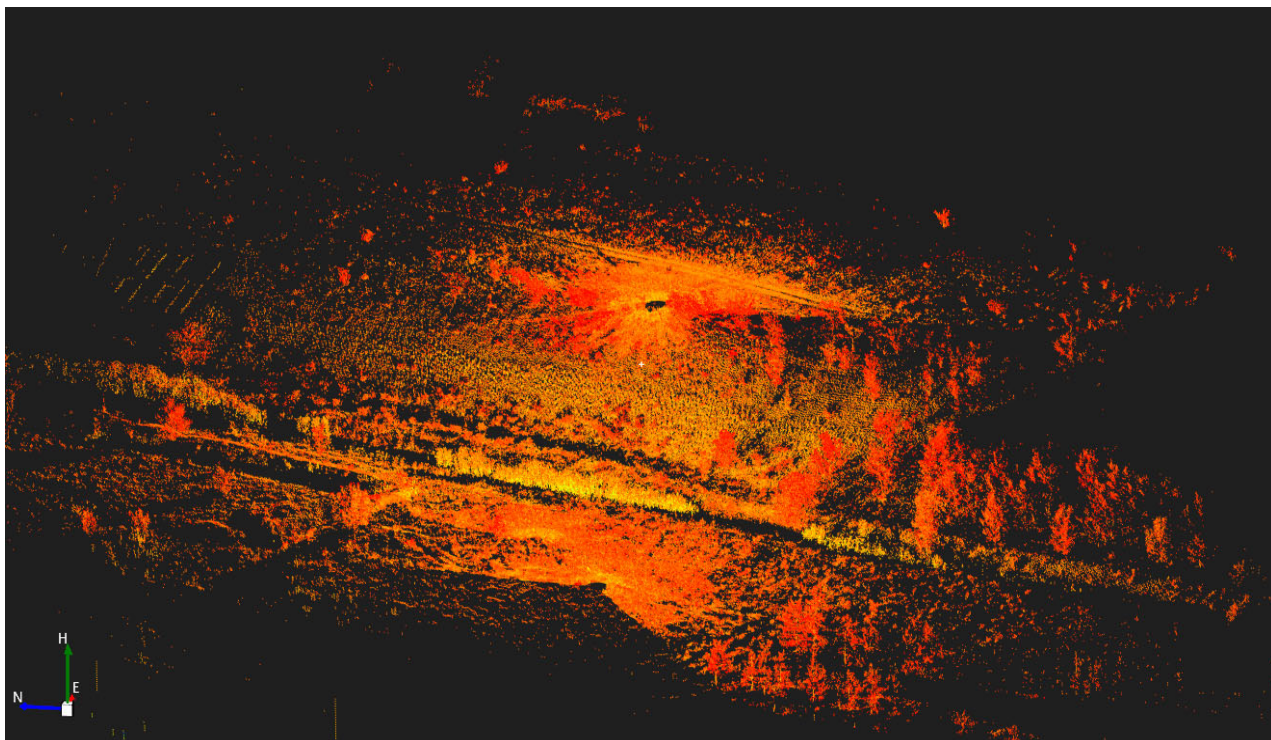


Рис. 1. Облако точек тела дамбы

После фильтрации облаков точек (удаление шумовых точек), они были экспортированы в файловый формат .E59 [17, 18] для следующего этапа камеральной работы – сравнительного анализа облаков точек в программном комплексе 3D Reshaper.

Полученные файлы «чистых» облаков точек двух циклов наземного лазерного сканирования импортируются в программный комплекс 3D Reshaper парно (1 и 2 цикла одновременно в один проект). После импорта сразу заходим во вкладку Измерения и выбираем инструмент Сравнение/анализ. Этот инструмент позволяет сравнить облака точек и выявить отклонения между точками (на сколько один скан отличается от другого) [19, 20]. В анализе необходимо задать базовое облако точек, относительно которого будет сравниваться второе облако. За базовое облако точек можно принять любой скан – первый или второй. Следующим шагом анализа необходимо задать линейное отклонение точек от базового облака точек. При линейном отклонении в  $\pm 30$  мм было получено, что более 70% точек находятся в данном диапазоне линейных отклонений, а оставшиеся превышают это значение, но в тот же момент эти точки равномерно распределены по облаку точек (рис.2).

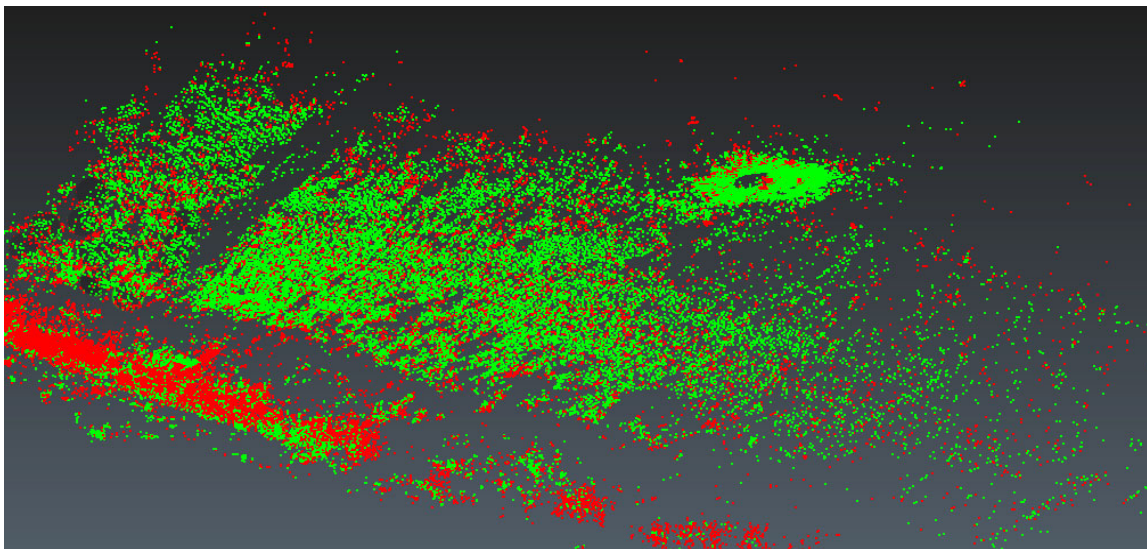


Рис. 2. Сравнение облаков точек двух циклов сканирования

### *Результаты и выводы*

Из этого следует вывод, что точки, которые не сосредоточены в одном локальном участке скана, а распределены по облаку точек равномерно, не подтверждают гипотезу о наличии деформационных процессов в теле дамбы. Величина  $\pm 30$  мм была выбрана в связи с тем, что увеличивая данное значение, процент точек, входящих в скан, увеличивается до 100%, а при снижении линейного отклонения уменьшается, но это уменьшение также показывает равномерное распределение точек, превышающих линейное отклонение. Однако значение линейного отклонения  $\pm 30$  мм превышает допустимые значения отклонения координат точек, полученных традиционными методами измерений (тахеометр, ГНСС аппаратура), но также стоит принять во внимание, что поверхность сканируемого объекта не идеально гладкая, и подвержена изменению под влиянием внешних факторов (дождь, ветер). Соответственно линейное отклонение  $\pm 30$  мм – удовлетворительное значение, которое позволяет сделать вывод по состоянию устойчивости насыпной дамбы – участок дамбы, который был подвержен геодезическим наблюдениям, имеет устойчивое, недеформированное состояние.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бесимбаева О.Г. Современные методы мониторинга гидротехнических сооружений: монография. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2016. – 226 с.
2. Комиссаров, Д.В. Использование технологии трехмерного лазерного сканирования при строительстве, эксплуатации и проектировании инженерных сооружений [Текст] / Д.В. Комиссаров, А.В. Середович // Стр-во и город. хоз-во Сибири. – 2004. – № 10. – С. 72–73.
3. Шоломицкий А. А., Хмырова Е. Н., Ханнанов Р. Р. Мониторинг состояния плотины Шерубай-Нурина водохранилища // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 265-271.
4. Саидходжаева Д., Абдувосиев А., Хамидов И. Основные причины и последствия прорыва плотин при гидродинамических авариях // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. Volume 1, issue 4. – Uzbekistan: www.oriens.uz., 2021. – С. 697-707.

5. Комиссаров, А.В. Мониторинг деформаций сооружений в сочетании с технологией трехмерного моделирования [Текст] / А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова, В.А. Середович, А.В. Середович, Г.Н. Ткачева, С.С. Студенков // *Геодезия и картография*. – 2006. – № 6. – С. 12–14.
6. Комиссаров, А.В. Исследование точности построения цифровой модели рельефа по данным наземного лазерного сканирования [Текст] / А.В. Комиссаров // *ГЕО-Сибирь-2006*. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. материалов междунар. науч. конгресса. «ГЕО-Сибирь-2006», 24–28 апр. 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 150-153.
7. Царев А.И., Иващенко И.Н, Малаханов В.В., Блинов И.Ф. Критерии безопасности гидротехнических сооружений как основа контроля их состояния // *Гидротехническое строительство*. - 1994.- № 1. – С. 9-14.
8. Kalkan Y. Geodetic deformation monitoring of Ataturk Dam in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. - 2014; 7: 397–405
9. Alba, M., Fregonese, L., Prandi, F., Scaioni, M., Valgoi, P. (2006). Structural monitoring of a large dam by terrestrial laser scanning. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 36(5), 6 pages
10. Xing, C., Huang, J.J., Han, X.Q. (2014). Research on the environmental effects of GB-SAR for dam monitoring. *Advanc. Mater. Res.*, 919-921, pp. 392-397
11. Anghel, A., Vasile, G., Boudon, R., d’Urso, G., Girard, A., Boldo, D., Bost, V. (2016). Combining spaceborne SAR images with 3D point clouds for infrastructure monitoring applications. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 111, pp. 45-61.
12. Patenaude G., Hill R. A, Milne R. et al. Quantifying forest above ground carbon content using LiDAR remote sensing // *Rem. Sens. Environ.*, 2004, 93 (3): pp. 368–380.
13. Maltamo M., Eerikainen K., Pitkanen J. et al. Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions // *Rem. Sens. Environ.*, 2004, 90 (3): 319-330.
14. Наземное лазерное сканирование: монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
15. Leica ScanStation 2. Руководство по применению. – Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2007. – 120 с.
16. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. – Москва, 2006. – Т. 2. – 360 с.
17. В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. Наземное лазерное сканирование: монография – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
18. Прокопьева, С.А. Применение технологии трехмерного наземного лазерного сканирования при решении задач археологии [Текст] / С.А. Прокопьева // *ГЕО-Сибирь-2006*. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. материалов междунар. науч. конгресса. «ГЕО-Сибирь-2006», 24–28 апр. 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – С. 164-167.
19. Р.М. Глушкова, В.Н. Анопин, О.И. Карпова. Аэрогеодезия и прикладная геодезия в транспортном строительстве [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2015. – 159 с.
20. Середович, В.А. Создание трехмерных метрических моделей с применением технологии лазерного сканирования для повышения оперативности и эффективности принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / В.А. Середович, Д.В. Комиссаров, А.В. Середович // *Бизнестехнологии и ресурсы Сибири*. – 2004. – авг.-сент. – С. 20–21.

© Р. Р. Ханнанов, 2023