

Д. Б. Новоселов¹ 

Опыт обследования гидроэлектростанции с применением наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования

¹ ООО «ОК «Сибшахтострой», г. Новокузнецк, Российская Федерация
e-mail: novoselov.db@okssh.ru

Аннотация. В статье описан опыт применения наземного лазерного сканирования бетонных поверхностей при обследовании турбоагрегата №4 на действующей гидроэлектростанции. Выполнено сканирование водоприемной части, спиральной камеры и отсасывающей трубы. В процессе работы применялся наземный лазерный сканер Leica RTC 360. По данным лазерного сканирования построены фактические 3D-модели бетонных поверхностей, по проектным данным построены проектные 3D-модели с использованием технологий информационного моделирования. Было выполнено сравнение фактического положения бетонных поверхностей с проектным в пространстве в программе Leica Cyclone 3DR. Результатом являются классические 2D-схемы и трехмерная схема отклонений. Для визуализации данных наземного лазерного сканирования применялись технологии виртуальной реальности, которые позволяют взглянуть на объект под любым углом, и лучше его изучить. Критических отклонений фактического положения бетонных поверхностей от проектных не обнаружено.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, технологии информационного моделирования, обследование бетонных поверхностей, VR-технологии, Leica RTC 360

D. B. Novoselov¹ 

Experience in surveying a hydroelectric power plant using a terrestrial laser scanner and information modeling technologies

¹ LLC "OK «Sibshahtostroy», Novokuznetsk, Russian Federation
e-mail: novoselov.db@okkshs.ru

Abstract. The article describes the experience of using terrestrial laser scanning of concrete surfaces during the inspection of turbine unit No. 4 at an operating hydroelectric power plant. The scanning of the water intake part, the spiral chamber, and the suction pipe was performed. A Leica RTC 360 terrestrial laser scanner was used during the work. Actual 3D models of the concrete surfaces were created based on the laser scanning data, and design 3D models were created based on the design data using information modeling technologies. The actual position of the concrete surfaces was compared with the design position in the Leica Cyclone 3DR program. The result is a classic 2D diagram and a 3D diagram of deviations. Virtual reality technologies were used to visualize the ground-based laser scanning data, allowing users to view the object from any angle, and explore it more thoroughly. There were no critical deviations between the actual position of the concrete surfaces and the design position.

Keywords: terrestrial laser scanning, information modeling technologies, surveying concrete surfaces, and VR technologies, Leica RTC 360

Введение

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений безопасность должна обеспечиваться посредством мониторинга технического состояния сооружений, их оснований, строительных конструкций и механического оборудования [1,2]. В состав строительных конструкций входят бетонные поверхности – ключевой элемент, обеспечивающий прочность, долговечность и безопасность сооружений. Они используются для возведения плотин, водосливов, водосбросов, шлюзов, турбинных блоков, причальных стенок и других элементов гидротехнических узлов. Бетонные поверхности имеют сложную форму как в плановом положении, так и в высотном. Контроль основных геометрических параметров бетонных поверхностей целесообразно выполнять с использованием современных геодезических инструментов, таких как наземные лазерные сканеры.

Наземное лазерное сканирование позволяет за короткий период времени собирать большие массивы геопространственных данных об объекте. Скорость сканирования достигает 2 млн. точек в секунду. Эта технология особенно актуальна, когда присутствует сложная геометрия объектов.

Результатом сканирования является массив точек с определенными трехмерными координатами, принадлежащими объекту. Каждая точка имеет свой реальный цвет, коэффициент отражения и время съемки. По сравнению с традиционными методами измерений съёмка с помощью НЛС позволяет получать исходные данные с высокой степенью детализации при наименьших затратах времени [3-5].

Методы и материалы

Инженерно-геодезические работы с применением наземного лазерного сканера выполнены с целью получения данных о фактическом расположении бетонных поверхностей, сечениях элементов, отклонения от проектного положения. Система координат: условная, принятая для данного объекта. 0.000,0.000 соответствует центру гидроагрегата №4. Оси X и Y соответствуют проектным чертежам. Система высот: Балтийская.

Объект – бетонные поверхности гидроагрегата №4, расположенные в здании Светлинской ГЭС, Республики Саха (Якутия), Мирнинский район, п. Светлый.

Светлинская ГЭС, филиал АО «Вилуйская ГЭС-3» расположена на реке Вилуй в 1206,8 км от устья и является второй ступенью каскада ГЭС на реке Вилуй. Светлинская ГЭС строилась для обеспечения электроэнергией объектов алмазного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО), освоения новых месторождений алмазов, газа, нефти и социально-экономического развития группы Вилуйских улусов (районов) Якутии.

Планируемая мощность ГЭС – 360 МВт, планируемая среднегодовая выработка – 1,2 млрд. кВт·ч. В здании ГЭС должно быть установлено 4 поворотно-лопастных гидроагрегата мощностью по 90 МВт, работающих при расчётном напоре 23 м.

На 2023 год введено 3 гидроагрегата, мощность ГЭС составляет 270 МВт. В текущий момент выполняются работы по обследованию бетонных и металлических конструкций агрегата №4.

Результаты

На объекте выполнена съемка бетонных поверхностей спиральной камеры, водоприемной части и отсасывающей трубы с использованием наземного лазерного сканера Leica RTC360. Скорость сканирования – до 2 000 000 точек в секунду. Поле зрения 360° (по горизонтали) / 300° (по вертикали). Расстояние сканирования от 0.5 до 130 м. Точность системы: угловая точность 18", расстояние 1.0 мм + 10 ppm. Схемы сканирования представлены на рис. 2 и 3.

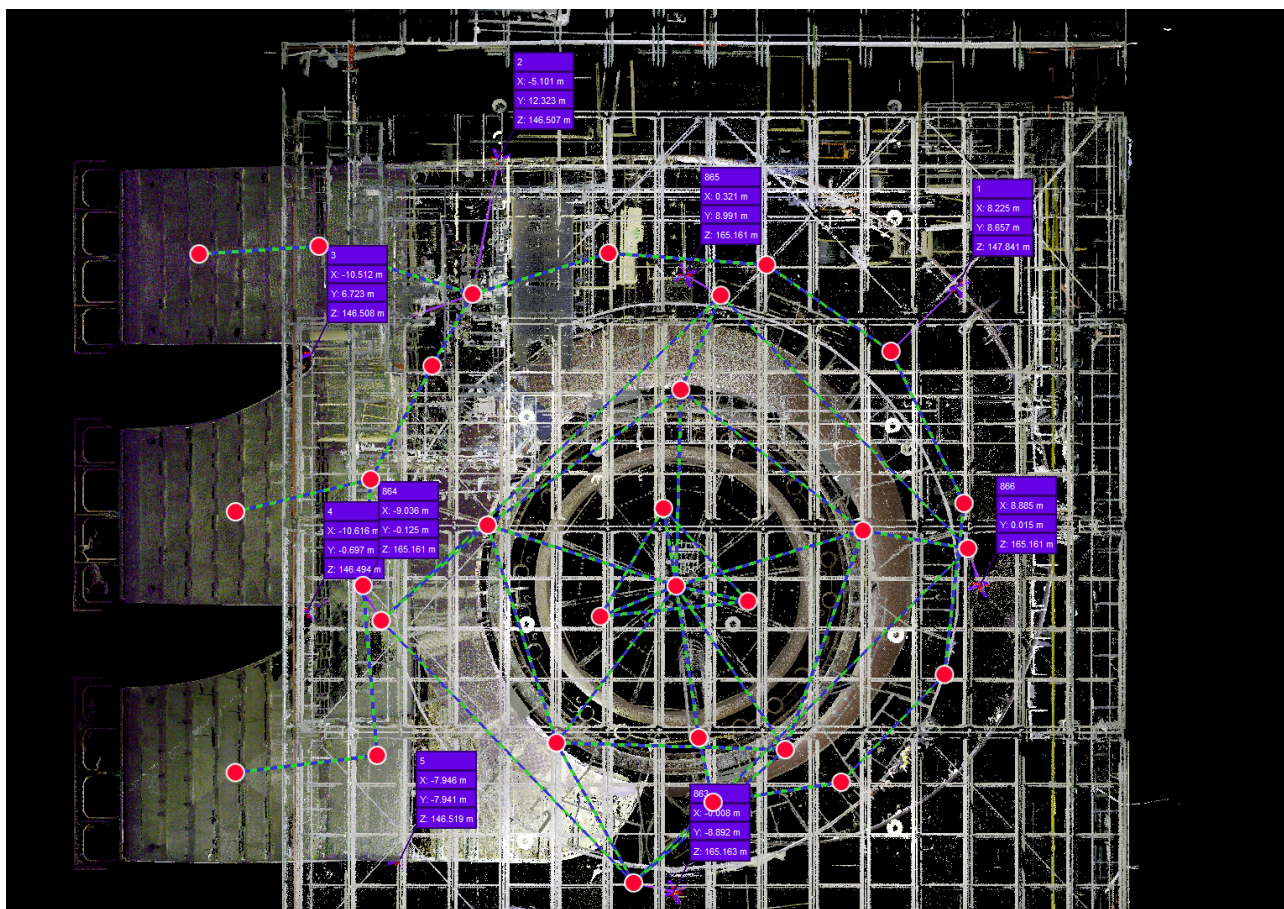


Рис. 2. Схема сканирования водоприемной части и спиральной камеры

В водоприемной части и спиральной камере было выполнено 30 станций сканирования с учетом охвата бетонных поверхностей. В качестве геодезической основы использовались репера, расположенные в машинном зале ГЭС. Геодезистами заказчика были определены новые репера в спиральной камере, но определить геодезическую сеть в отсасывающей трубе не было возможности из-за того, что спиральная камера и отсасывающая труба разделены двумя металлическими площадками. С использованием тахеометра Leica RS09 plus была передана

отметка в отсасывающую камеру, а плановое положение было определено по данным НЛС. По облакам точек вписывались окружности в центре гидроагрегата спиральной камеры и отсасывающей трубы и совмещались. Поворот выполнялся по отводным каналам отсасывающей трубы, которые в условной системе координат строго горизонтальны.

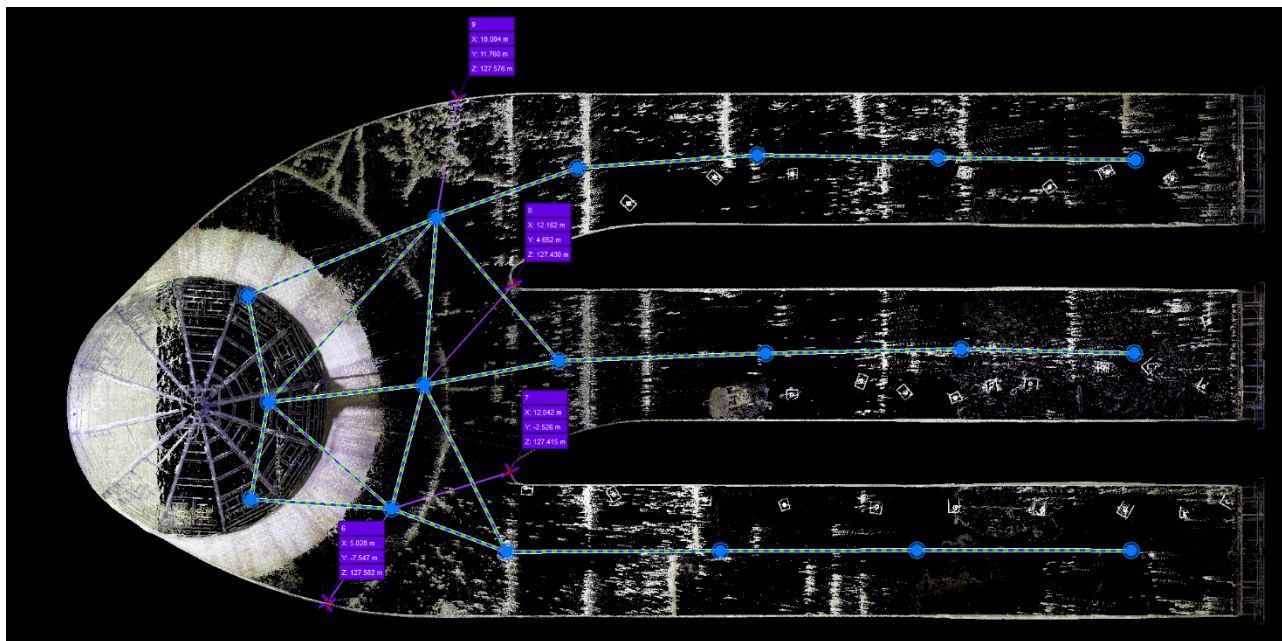


Рис. 3. Схема сканирования отсасывающей трубы

В отсасывающей трубе было выполнено 18 станций сканирования с учетом охвата бетонных поверхностей. В отсасывающей трубе был недостаток в освещённости, а на полу была вода, поэтому использовались искусственные источники света, которые закреплялись на пенопласте и плавали по воде.

После сканирования облака точек каждой станции автоматически сшиваются в программном обеспечении Cyclone REGISTER 360 в единое облако точек.

Результатом съёмки с помощью наземного лазерного сканера являются облака точек и непрерывные сферические панорамы (с возможностью измерений).

Точность съёмки с помощью наземного лазерного сканера строительных конструкций, стационарных установок и оборудования, инженерных сетей и систем соответствует плюс/минус 2 мм, плотность облаков – не менее 10 мм на 10 мм [6].

Облака точек предоставлены с раскраской по реальным цветам RGB в формате tsc, а также в альтернативном формате lgs для бесплатного ПО Leica Truview.

По данным лазерного сканирования были построены фактические модели спиральной камеры и отсасывающей трубы в программе Leica Cyclone 3DR (рисунк 4). Во время сканирования на полу находилась вода, в связи с этим съёмку

бетонной поверхности под водой выполняли классическим способом с помощью электронного тахеометра Leica TS09 plus.

В спиральной камере шаг съёмки составлял 1 метр, в отсасывающей трубе 2 метра. Эти точки интерполировали и создали облако точек с шагом 2 см, затем была построена общая фактическая модель. Интерполяция облака точек была необходима для того, чтобы потолок, стены и пол имели единую плотность точек. Бетонные поверхности «чистились» от шума и посторонних элементов, таких как освещение, двери и остатки арматуры.

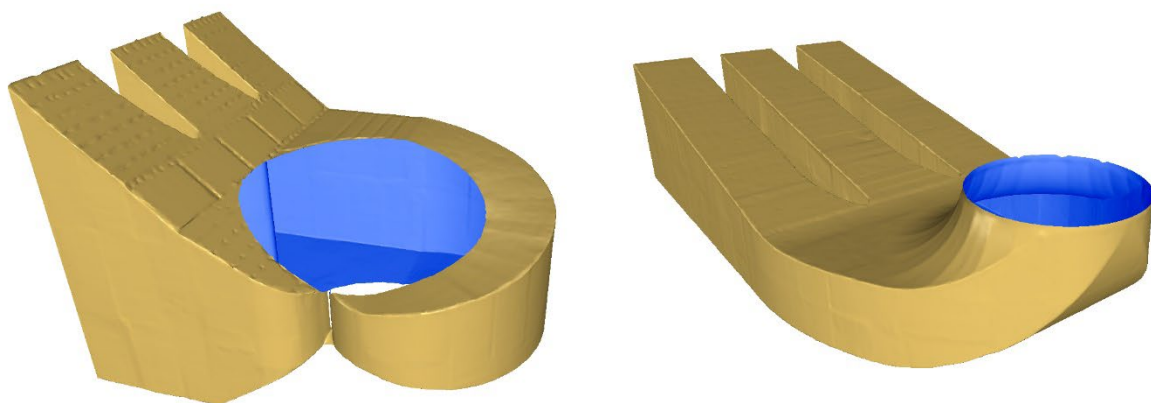


Рис. 4. Фактические 3D-модели

Используя проектные чертежи, были созданы проектные 3D модели спиральной камеры и отсасывающей трубы в программе AutoCAD (рис. 5). Проектные модели представляют собой сеточный каркас, которые повторяет проектные геометрические параметры бетонных конструкций спиральной камеры и отсасывающей трубы [7].

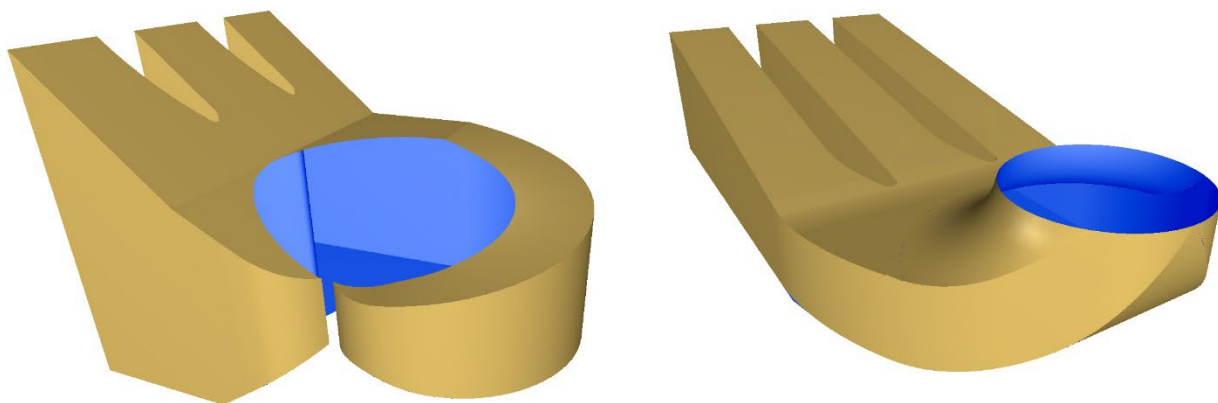


Рис. 5. Проектные 3D-модели

Затем было выполнено сравнение фактического положения бетонных поверхностей с проектным в пространстве в программе Leica Cyclone 3DR. Результатом являются трехмерная схема отклонений с гистограммой (рис. 6).

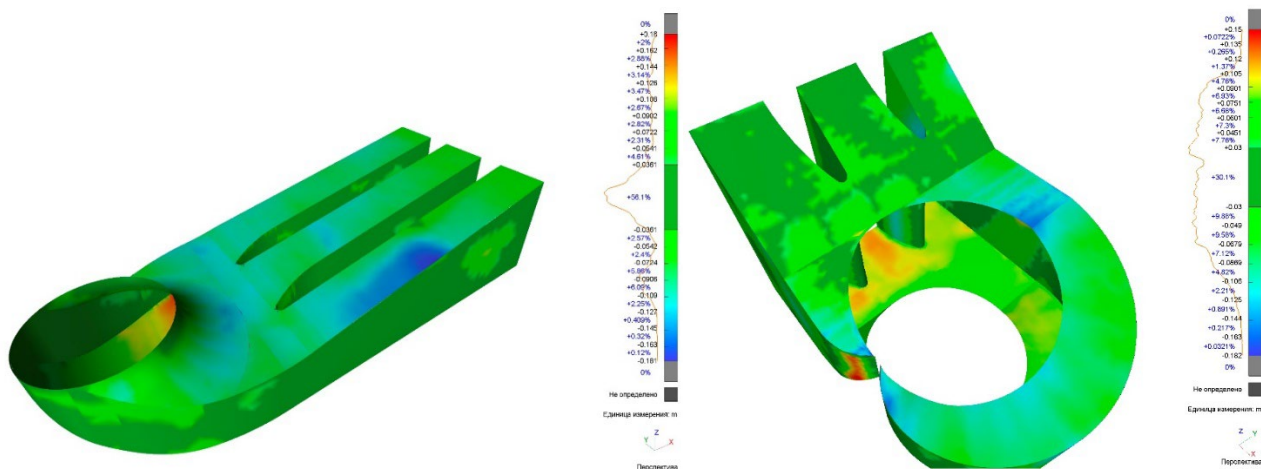


Рис. 6. Трехмерная схема отклонений бетонных поверхностей

По данным моделям были выполнены классические исполнительные схемы в 2D формате с проектным и фактическим положением бетонных поверхностей. Стоит отметить, что сравнение фактических радиусов закругления возможно только в полноценной модели. Чтобы определить фактический радиус, из облака точек выделяется сечение шириной 1 см и по этим точкам вписывается окружность. Точек в сечении несколько тысяч, что позволяет очень точно определять фактически размеры.

По данным сравнения был сделан вывод, что для спиральной камеры максимальные отклонения составляют -18 см и +15 см. 90% отклонений входят в рамки -8 см до +9 см.

В отсасывающей трубе максимальные отклонения составляют -18 см и +18 см. 90% отклонений входят в рамки -10 см до +10 см.

В программе Leica Cyclone 3DR есть команда «регистрация наилучшего приближения». Эта команда анализирует перекрытие выбранных объектов, чтобы вычислить наилучшее соответствие этих объектов. Наилучшее соответствие – преобразование, которое максимально точно совмещает фактическую 3D модель с проектной. Первый объект в выделенной области является опорным неподвижным объектом. Для получения хорошего результата настоятельно рекомендуется, чтобы неподвижный объект покрывал основную часть 3D-модели [8].

Если выполнить такой расчет по отсасывающей трубе, то получим:

Roll (around X): -0.0482926° Pitch (around Y): -0.0558656° Yaw (around Z): -0.0450203°

Gravity center translation: DX -0.0139065 m, DY -0.00999211 m, DZ 0.113522 m

Плановая трансформация 1,3 см по оси X, 1 см по оси Y и 11,3 см по оси Z.

В спиральной камере:

Roll (around X): -0.0599619° Pitch (around Y): 0.0736044° Yaw (around Z): 0.0551193°

Gravity center translation: DX -0.0266144 m, DY -0.0362359 m, DZ 0.0721714 m

Плановая трансформация 2,6 см по оси X, 3,6 см по оси Y и 7,2 см по оси Z.

По данному анализу можно сделать вывод, что по оси Z ошибка больше.

Использование VR-технологии

Для просмотра облаков точек и панорам с НЛС можно использовать шлем виртуальной реальности. Для просмотра облака точек и панорам в ПО Leica Trueview есть дополнительный модуль Leica Trueview VR (рис. 7), который позволяет лучше ориентироваться в пространстве объекта, лучше его изучить и увидеть объект с разных углов.

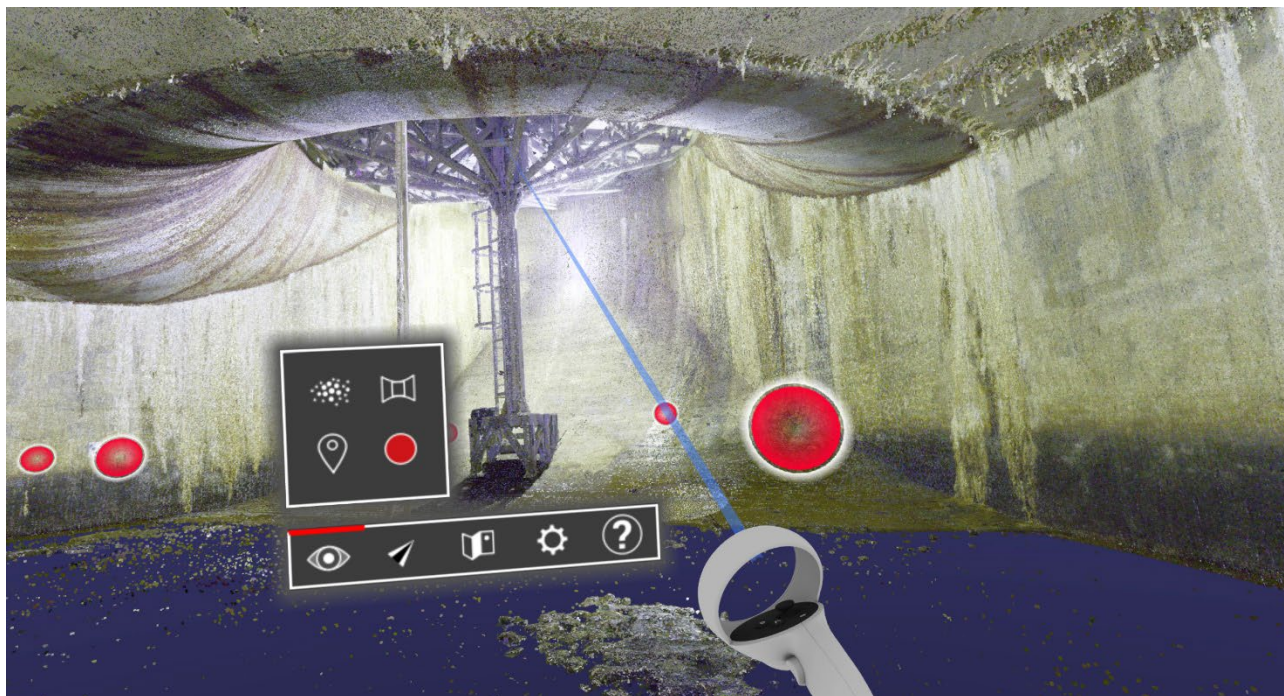


Рис. 7. Просмотр облака точек в шлеме виртуальной реальности

Из опыта работы с облаками точек можно отметить, что с помощью очков виртуальной реальности можно посмотреть на объект с таких ракурсов, с которых невозможно увидеть объект на стандартном мониторе. В виртуальной реальности можно лучше изучить объект и сделать необходимые замеры.

Заключение

В результате выполненных работ получено облако точек в форматах *gcr* и *lgs*, фактические и проектные модели бетонных поверхностей спиральной камеры и отсасывающей трубы, выполнено сравнение и построены исполнительные схемы в 2D формате и трехмерная схема отклонений.

Критических отклонений фактического положения бетонных поверхностей не обнаружено. Отклонения составляют ± 10 см, причем основная ошибка идёт по оси Z.

Перспективы дальнейшего внедрения технологии применения наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования заключается в объединении пространственных данных для контроля строительства и выявления отклонений проект/факт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения». – М.: Стандартинформ, 2018. – 39 с.
2. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 69 с.
3. ГОСТ Р 71863-2024. Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 24 с.
4. Наземное лазерное сканирование / А. В. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова : монография. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.
5. Кузнецова А. А. Применение наземного лазерного сканирования для выявления отклонений конструкций от их проектных значений // Геодезия и картография. – 2018. – № 12. – С. 2–7. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-942-12-2-7.
6. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Требования к точности наземного лазерного сканирования для решения инженерно-геодезических задач с помощью цифрового информационного моделирования // Геодезия и картография. – 2021. – № 8. – С. 2–12. DOI: 10.22389/00167126-2021-974-8-2-12.
7. Азаров Б. Ф., Опара В. В. BIM-технологии: проектирование, строительство, эксплуатация // Ползуновский альманах. – 2018. – № 2. – С. 8–11.
8. Новоселов Д. Б. Совместное использование наземного лазерного сканера и технологий информационного моделирования при обеспечении строительства и эксплуатации гражданских и промышленных сооружений // Интерэкспо ГЕО Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – С. 112–118. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-112-118.

© Д. Б. Новоселов, 2026