

*КОМПЛЕКС РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НАЗЕМНЫМ ЛАЗЕРНЫМ  
СКАНЕРОМ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБМЕРНЫХ  
ЧЕРТЕЖЕЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ГЭС*

**Д.И. ТУРОВ, Д.А. ГУРА, Г.Г. ШЕВЧЕНКО, Т.А. ГУРА**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: dmitry.turov.20@gmail.com, gda-kuban@mail.ru*

Приведены особенности и методика комплекса работ, выполняемых наземным лазерным сканером для составления пространственных обмерных чертежей подземных сооружений на примере ГЭС. Подробно описаны основные этапы выполнения данного комплекса работ: полевой этап и этап обработки цифровых данных. Приводится описание основных характеристик объекта работ. Указаны сведения об оборудовании, используемом на объекте работ, и его основных характеристиках, а также о методике и принципах работы наземного лазерного сканера. Приведены методики обработки цифровых данных комплекса работ по наземному лазерному сканированию в программном обеспечении: Cyclone, TerraScan, AutoCAD. Описана уникальность данного вида работ по сравнению с традиционными методиками составления пространственных обмерных чертежей.

**Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование, подземные сооружения, ГЭС, Leica ScanStation2, Cyclone, TerraScan, AutoCAD.

Комплекс работ по наземному лазерному сканированию проводился в два этапа:

I этап. На объекте работ был произведен комплекс полевых работ по наземному лазерному сканированию, состоящий из следующих видов работ:

- рекогносцировка;
- развитие съемочного обоснования в системе координат проекта;
- создание и координирование сети опорных марок – необходимых элементов внешнего ориентирования сканера;
- обзорная и детальная фотофиксация объекта;
- наземное лазерное сканирование.

II этап. Обработка цифровых данных:

- взаимное уравнивание облаков точек наземного лазерного сканирования с привязкой к системе координат проекта;
- классификация точек лазерного сканирования;
- создание обмерных планов штолен и автодорожного тоннеля;

- создание трехмерной модели штолен и автодорожного тоннеля по результатам наземного лазерного сканирования;
- создание плана расположения подземных инженерных сетей [1].

Работы по лазерному сканированию проводились наземным лазерным сканером Leica ScanStation2 SN1251471, изображенного на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид сканера Leica ScanStation2.

В состав сканирующей системы входит: транспортный ящик, трегер, штатив, Ethernet-кабель связи сканера с компьютером, кейс с принадлежностями (аккумулятор, кабель соединения сканера и аккумулятора, зарядное устройство), программное обеспечение Cyclone. Прибор имеет два рабочих окна, фронтальное и верхнее, видимая область этих окон называется полем зрения прибора. Сканируемая область сканера 360 градусов по горизонтали и 270 градусов по вертикали [2].

В основе технологии наземного лазерного сканирования лежит метод определения множества трехмерных координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  отдельных точек на снимаемом объекте. Измерения выполняются с помощью высокоскоростного лазерного дальномера. Для перехода на следующий узел мнимой сетки луч лазерного дальномера после каждого замера разворачивается системой зеркал на некоторый заданный угол. Повышение плотности узлов в этой сетке увеличивает количество снятых точек и детализирует съемку.

Дальномер имеет высокую скорость измерений (50000 точек в секунду). Координаты точек, полученные в результате сканирования объекта, объединяются в большие группы, называемые облаками точек [3].

Отклонение лазерного луча в вертикальном направлении осуществляется шаговым электромотором с закрепленным на нем зеркалом (рисунок 2). В горизонтальном направлении луч лазера отклоняется путем вращения самого сканера. Такая схема позволяет охватить все окружающее сканер пространство. Угловая точность шаговых электромоторов, управляющих вращением сканера и зеркала, наряду с точностью лазерного безотражательного дальномера, являются важной составляющей точности получаемых координат точек.

Определив дальномером расстояние и зная угол отклонения лазерного луча в горизонтальной и вертикальной плоскостях, были получены трехмерные координаты каждой точки. Рабочее поле у лазерных сканеров различается в зависимости от модели и производителя, так на рисунке 3 представлено рабочее поле импульсного сканера Leica ScanStation C10.

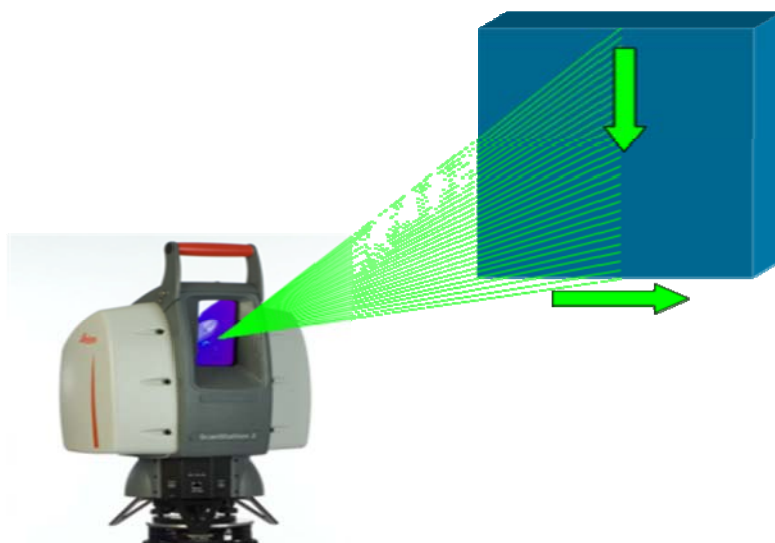


Рисунок 2 – Принцип действия лазерного сканера

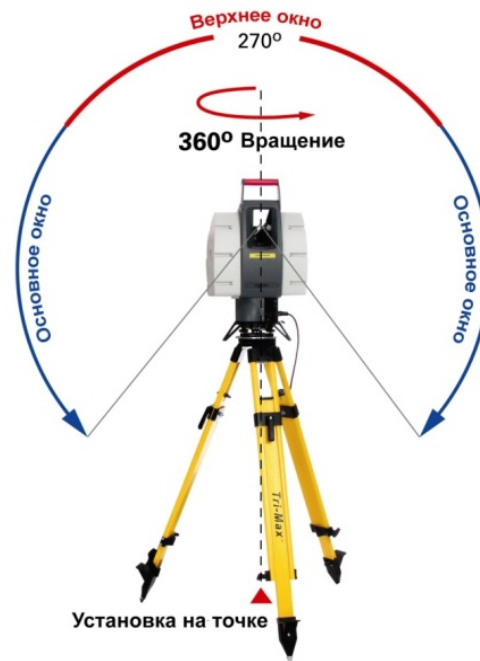


Рисунок 3 – Дизайн двух окон

При сканировании установка сканера производится на штатив. Определение местоположения штатива получено аналитическим методом при обработке и сшивке результатов сканирования с каждой установки прибора, по облакам точек или заранее установленным визирным целям (марки сканирования). Марки устанавливаются в поле зрения сканера при сканировании с одной станции стояния прибора в количестве не менее 4-х [4].



Рисунок 4 – Общий вид визирных целей (марок)

Координаты центра каждой марки фиксировались с помощью электронного тахеометра с точек теодолитного хода.

Общий вид процесса наземного лазерного сканирования представлен на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5 – Процесс наземного лазерного сканирования



Рисунок 6 – Рабочий процесс наземного лазерного сканирования

Лазерное сканирование производится лазерным сканером, обеспечивающим полноту определения основных элементов сканируемого объекта. Производится рекогносцировка объекта, с целью определения точек стояния наземного лазерного сканера и покрытия местности при сканировании. В связи <http://ntk.kubstu.ru/file/1536>

с ограниченностью области видимости объекта с одной станции стояния сканера выполняется несколько «сканвордов» (циклов сканирования) с разных точек стояния прибора. Для обеспечения заданной точности измерений, были расставлены визирные цели (контрольные марки). Съёмка выполняется с целью создания пространственной модели объекта, состоящей из облаков точек, отображающих конфигурацию объектов в трехмерном виде [4].

Заключительным этапом данного комплекса работ является камеральная обработка произведенных измерений.

Все этапы работ, включая первичный вывод точек лазерных отражений, производились в местной системе координат гидроузла, балтийской системе высот.

Обработка материалов лазерного сканирования выполнялась с использованием программного обеспечения Cyclone 6.0 фирмы CYRA. На первом этапе производилась сшивка сканов с одной станции (рисунок 7) стояния методом интерполяции в единое пространственное облако точек. В качестве ориентиров для сшивки выступают визирные цели.

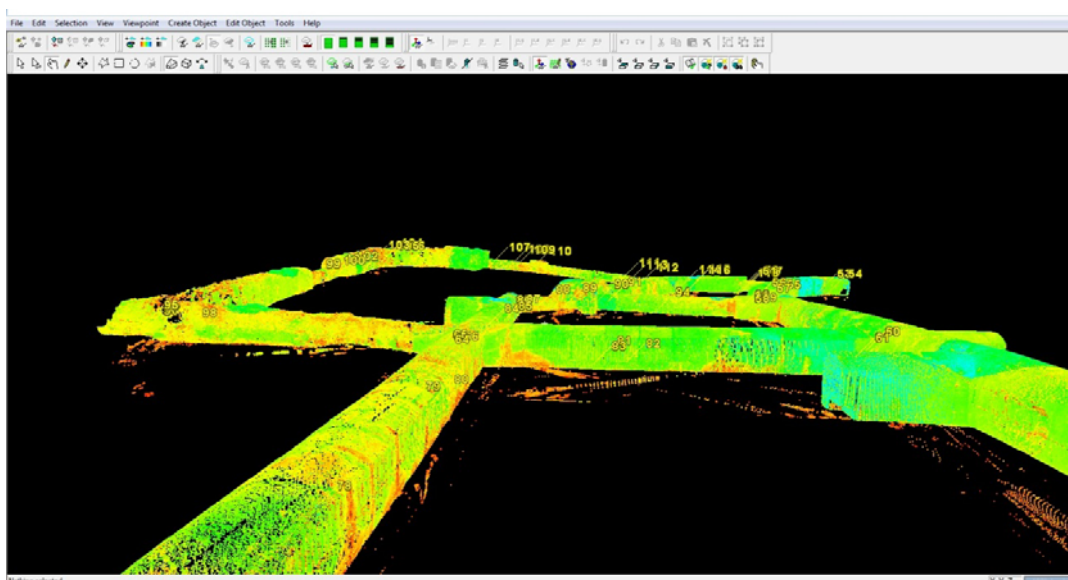
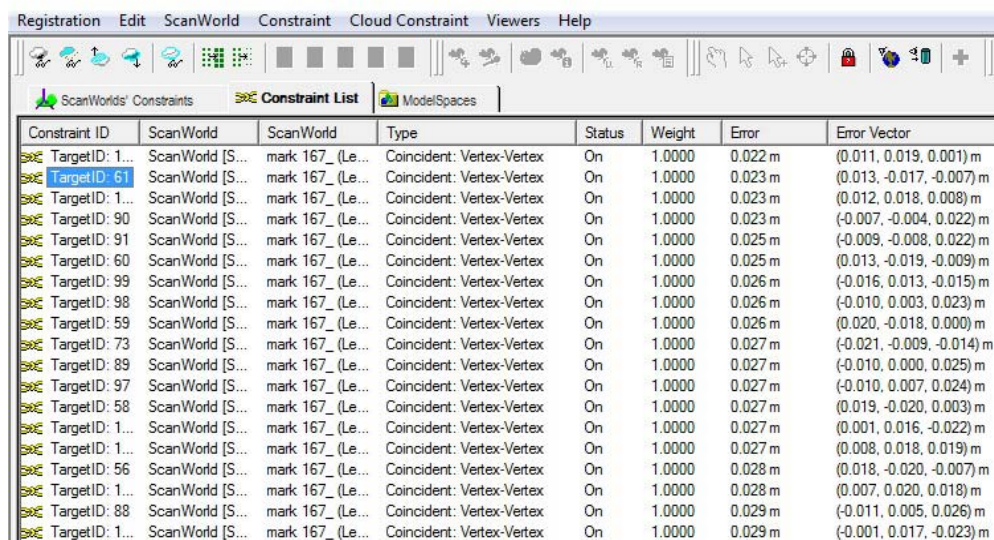


Рисунок 7 – Объединенные облака точек лазерных отражений в ПО Cyclone

В процессе уравнивания были получены детализированный отчет с диагностикой результата привязки облаков точек к системе координат и системе высот проекта (рисунок 8). В статистический отчет включены все полученные ошибки по каждому отдельному облаку точек. Оценить результат

такого уравнивания можно дважды – по цифровому отчету и по визуальному сравнению наложения двух облаков [5].



| Constraint ID  | ScanWorld       | ScanWorld        | Type                      | Status | Weight | Error   | Error Vector               |
|----------------|-----------------|------------------|---------------------------|--------|--------|---------|----------------------------|
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.022 m | (0.011, 0.019, 0.001) m    |
| TargetID: 61   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.023 m | (0.013, -0.017, -0.007) m  |
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.023 m | (0.012, 0.018, 0.008) m    |
| TargetID: 90   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.023 m | (-0.007, -0.004, 0.022) m  |
| TargetID: 91   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.025 m | (-0.009, -0.008, 0.022) m  |
| TargetID: 60   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.025 m | (0.013, -0.019, -0.009) m  |
| TargetID: 99   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.026 m | (-0.016, 0.013, -0.015) m  |
| TargetID: 98   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.026 m | (-0.010, 0.003, 0.023) m   |
| TargetID: 59   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.026 m | (0.020, -0.018, 0.000) m   |
| TargetID: 73   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (-0.021, -0.009, -0.014) m |
| TargetID: 89   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (-0.010, 0.000, 0.025) m   |
| TargetID: 97   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (-0.010, 0.007, 0.024) m   |
| TargetID: 58   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (0.019, -0.020, 0.003) m   |
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (0.001, 0.016, -0.022) m   |
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.027 m | (0.008, 0.018, 0.019) m    |
| TargetID: 56   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.028 m | (0.018, -0.020, -0.007) m  |
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.028 m | (0.007, 0.020, 0.018) m    |
| TargetID: 88   | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.029 m | (-0.011, 0.005, 0.026) m   |
| TargetID: 1... | ScanWorld [S... | mark 167_ (Le... | Coincident: Vertex-Vertex | On     | 1.0000 | 0.029 m | (-0.001, 0.017, -0.023) m  |

Рисунок 8 – Отчет о результатах уравнивания

На втором этапе в программе Microstation TerraScan выполнено удаление облаков точек, характеризующих предметы, не относящиеся к заданному пространству моделирования объекта. Результатом работ являлись неклассифицированные точки лазерных отражений в системе координат проекта в формате PTS.

Камеральные работы включали в себя выполнение следующих этапов по обработке точек лазерных отражений:

- классификация точек лазерных отражений (ТЛО);
- профилирование объектов;
- создание 3D-моделей;
- создание обмерных чертежей.

Классификация ТЛО включала в себя два этапа:

- отбор ошибочных точек;
- автоматическая классификация [6].

Классификация ТЛО проведена в лицензионном программном обеспечении Terra Scan посредством профилирования. Ошибочные точки обычно находятся явно ниже объекта и образуются из-за отражений от воды (рисунок 9).

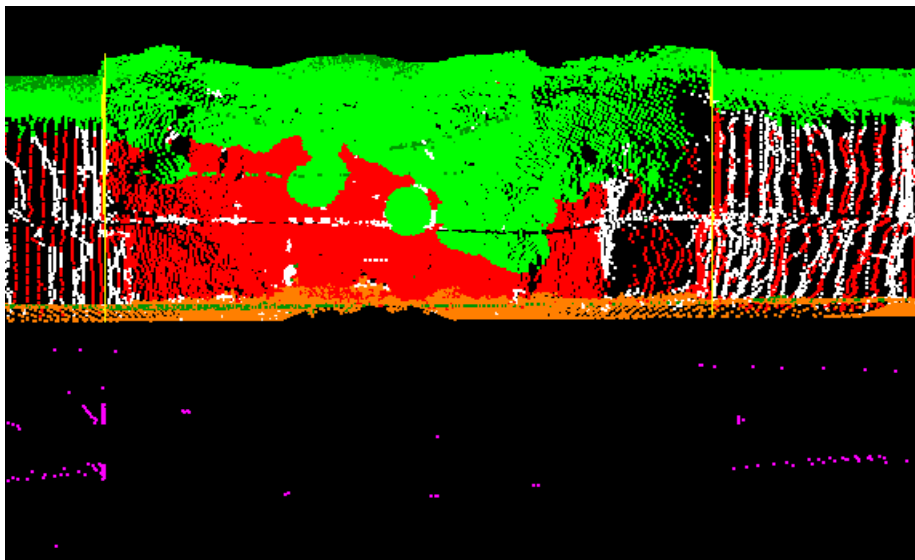


Рисунок 9 – Ошибочные точки лазерных отражений (малиновые).

Автоматическая классификация предполагает условное разделение на точки уровня пола, точки стен и потолка. Также оставался класс неопределенных точек, которые обычно относились к коммуникациям и сторонним или нестандартным объектам в тоннелях (рисунок 10). Классификация носила вспомогательный характер и помогала определять расположение в пространстве коммуникаций и отдельных элементов.

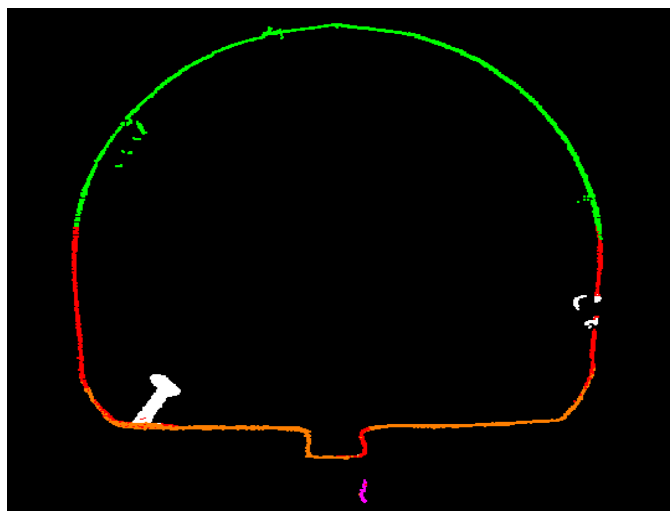


Рисунок 10 – Разделение точек лазерных отражений на классы.

Профилирование тоннелей проводилось на основе перпендикулярного оси коридора разреза толщиной 5-10см в вертикальной плоскости. Линия профиля включала в себя характерные вершины изгибов (рисунок 11). Также при небольших угловых отклонениях отрезки линии стремились к



горизонтальному или вертикальному положению. Необработанные тоннели и анкерные отображались схематично.

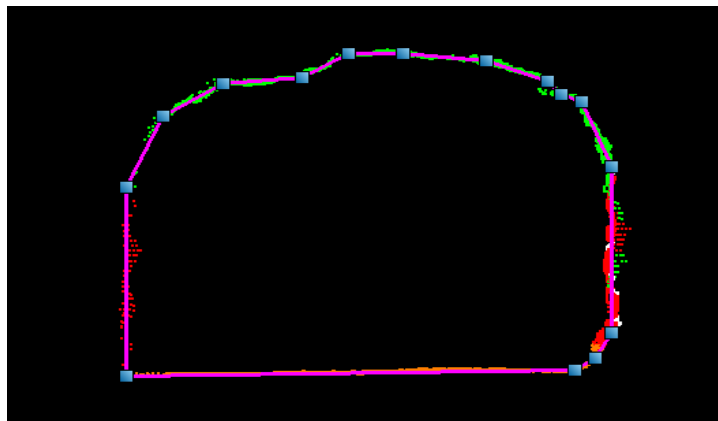


Рисунок 11 – Линия профиля

Линии профиля брались в местах поворотов, завершений коридоров, разветвлениях, при изменении обработанности стен, других характерных местах (рисунок 12).

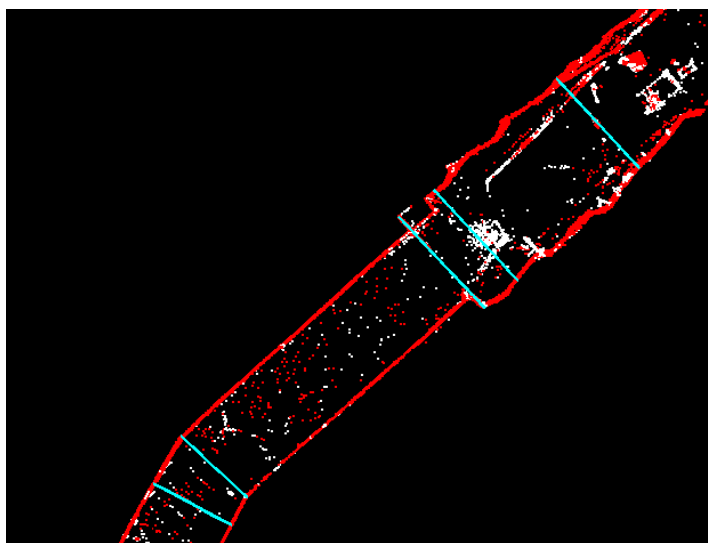


Рисунок 12 – Характерные места для линий профиля

3D-модели тоннелей были созданы в AutoCAD 11 телами на основе профилей. При этом обращалось внимание на корректность стыков отдельных тел – уровень пола, ступеньки и т.п. Обработанные и необработанные коридоры отличаются по цвету. 3D-тела соответствуют отдельным участкам коридоров и между собой не объединены в одну фигуру (рисунок 13).

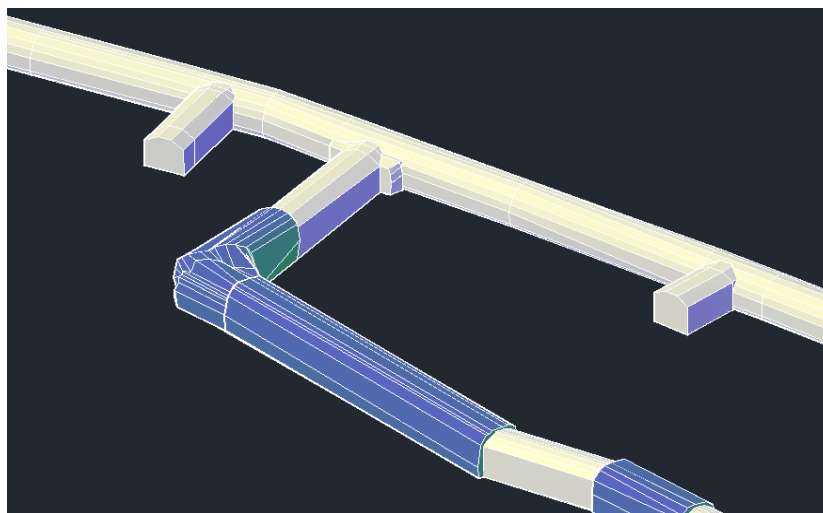


Рисунок 13 – 3D-модель

На данном участке работ выполнены инженерные изыскания по созданию обмерных чертежей на штольни и автодорожный тоннель в масштабе 1:200.

Процесс создания обмерных чертежей включает в себя:

1. Создание схемы расположения сечений – схема тоннеля (вид сверху) на которых показаны места расположения сечений;

2. Оформление схемы сечения. Схемы сечения взяты в местах изменения диаметров тоннеля, в местах изменения отделки, в начале, конце или тупике тоннеля, либо через 20-25 метров, при его неизменных характеристиках. Схемы сечений создавались в масштабе, с нанесением всех коммуникаций по точкам ТЛО. Рядом с каждой схемой сечения располагается фотография и его характеристики;

3. Нанесение на схему сечения технологических объектов. Для каждой схемы составлена легенда с условными обозначениями, которая располагается на одном листе со схемой. На основе выполненных сечений на схему наносились коммуникации.

Все размеры на обмерных чертежах нанесены в соответствии с ГОСТ 2.307-68, с учетом требований ГОСТ 21.101-97 СПДС.

Обмерные чертежи созданы и оформлены в единой слоевой структуре в масштабе 1:200 в формате DWG (AutoCAD), на основании редакционно-технических указаний, сформированных для обеспечения требуемого качества содержания и оформления обмерного чертежа.

Согласно техническому заданию на обмерные чертежи нанесены все подземные коммуникации с обозначением их технических характеристик с последующим согласованием с эксплуатирующими организациями на соответствия местоположения коммуникаций, их назначения и диаметров.

Таким образом следует отметить, что описанный комплекс работ по многим критериям выигрывает у традиционной методики составления обмерных чертежей. На примере подземных сооружений ГЭС, можно сказать, что традиционные методики не в состоянии осуществить подобный комплекс работ, хотя бы потому что многокилометровые штольни, тоннели и иные сооружения ГЭС имеют нечеткую ситуативную структуру, т.е. физически они представляют собой скорее червоточины в теле плотины, тупиковые прямые, ломанные многоуровневые ответвления шахт и штолен, чем коридоры с явными характерными поворотными точками. В следствии чего, выполнение данного вида работ возможно только с применением совместного комплекса наземного лазерного сканирования и оптико-электронных средств измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование / Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова // Новосибирск, 2009.
2. Кузнецова А.А. Опыт использования технологий и оборудования leica geosystems в учебно-образовательном процессе кубгту. выполнение хоздоговорных работ / А.А. Кузнецова, Д.А. Гура, Г.Г. Шевченко // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). - 2013. - № 4. - С. 64-66.
3. Применение наземного лазерного сканирования для целей дорожного строительства / Е.С. Кравченко, И.В. Будагов // В сборнике: Молодая наука - 2013 Материалы IV Открытой международной молодежной научно-практической конференции, посвященной Году охраны окружающей среды в Российской Федерации. Туапсе, 2014. - С. 222-224.
4. Грибкова И.С. Лазерное сканирование / И.С. Грибкова, Н.А. Шерстюк // В сборнике: Науки о земле на современном этапе. - 2013. - С. 53-55.

5. Кузнецова А.А. Анализ полученных данных методом лазерного сканирования для выполнения периодического мониторинга на примере здания расположенного в г. Краснодаре / А.А. Кузнецова, Д.А. Гура, Т.Э. Алкачев // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - 2014. - № 4. - С. 77-83.

6. Гура Д.А. Мобильному миру - мобильные сканирующие системы/ Д.А. Гура, Е.А. Вerezубов // В сборнике: Науки о земле на современном этапе. - 2013. - С. 56-58.

#### REFERENCES

1. Seredovich VA Ground-based laser scanning / Seredovich, A.V. Komissarov, D.V. Komissarov, T.A. Shirokova // Novosibirsk, 2009.

2. AA Kuznetsova. Experience in the use of leica geosystems technologies and equipment in the educational and educational process of kubgtu. Performance of contractual work / A.A. Kuznetsova, D.A. Gura, G.G. Shevchenko // Science. Equipment. Technology (polytechnic messenger). - 2013. - No. 4. - P. 64-66.

3. Application of ground-based laser scanning for the purposes of road construction / E.S. Kravchenko, I.V. Budagov // In the collection: Young Science - 2013 Materials of the IV Open International Youth Scientific and Practical Conference on the Year of Environmental Protection in the Russian Federation. Tuapse, 2014. - P. 222-224.

4. Gribkova IS Laser scanning / I.S. Gribkova, N.A. Sherstyuk // In the collection: Earth sciences at the present stage. - 2013. - P. 53-55.

5. AA Kuznetsova. Analysis of the data obtained by the laser scanning method for performing periodic monitoring using the example of a building located in Krasnodar / A.A. Kuznetsova, D.A. Gura, T.E. Alkachev // Scientific works of the Kuban State Technological University. - 2014. - No. 4. - P. 77-83.

6. Gura D.A. Mobile world - mobile scanning systems / D.A. Gura, E.A. Verezubov // In the collection: Earth sciences at the present stage. - 2013. - P. 56-58.

*COMPLEX WORK PERFORMED TERRESTRIAL LASER SCANNERS FOR OF  
SPATIAL MEASUREMENT DRAWING UNDERGROUND STRUCTURES ON THE  
EXAMPLE OF WATER-POWER PLANT*

**D.I. TUROV, D.A. GURA, G.G. SHEVCHENKO, T.A. GURA**

*Kuban State Technological University.  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,  
e-mail: dmitry.turov.20@gmail.com, gda-kuban@mail.ru*

The characteristics and methods of the complex work performed by terrestrial laser scanner to produce spatial measuring drawings of underground structures on the example of HPP. Detailed description of the main stages of the implementation of this complex work: field stage and phase of digital data processing. A description of the main characteristics of the work object. The shown information about the equipment used in the facility works and its main features, as well as the methods and principles of operation of the terrestrial laser scanner. Techniques of processing digital data set of activities on terrestrial laser scanning software: Cyclone, TerraScan, AutoCAD. We describe the uniqueness of this type of work as compared to conventional methods of drawing up spatial measuring drawings.

**Key words:** terrestrial laser scanning, underground structures, hydroelectric, Leica ScanStation2, Cyclone, TerraScan, AutoCAD.