

ТЕХНОЛОГИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СЪЕМКИ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В.А. Семькин («Навгеоком Инжиниринг»)

В 1986 г. окончил Житомирское высшее военное командное училище радиоэлектроники войск ПВО. После окончания училища служил в рядах ВС РФ. С 2008 г. по настоящее время — ведущий инженер ООО «Навгеоком Инжиниринг».

А.А. Кузнецов («Навгеоком Инжиниринг»)

В 1993 г. окончил факультет техники разведки и разработки Московской государственной геологоразведочной академии им. Серго Орджоникидзе (в настоящее время — Российский государственный геологоразведочный университет) по специальности «открытые горные работы». С 2007 г. по настоящее время — ведущий инженер ООО «Навгеоком Инжиниринг».

В последние годы для выполнения крупномасштабной топографической съемки все чаще используются наземные лазерные сканирующие системы. Тенденция ухода от традиционных технологий обусловлена постоянным повышением требований заказчиков к сокращению сроков выполнения работ, снижению стоимости типовых работ при одновременном повышении качества и достоверности конечных результатов. Современные технологии наземного лазерного сканирования вполне удовлетворяют вышеперечисленным требованиям. В качестве примера рассмотрим проект по топографической съемке района строительства и исполнительной съемке основных сооружений Рогунской ГЭС (Республика Таджикистан), выполненный компанией «Навгеоком Инжиниринг» в 2009 г.

Рогунская ГЭС расположена на 70 км выше существующей Нурекской ГЭС по течению реки Вахш и в 110 км восточнее Душанбе — столицы Республики Таджикистан. Высота плотины над уровнем моря составляет

1100 м. Предполагается, что ГЭС станет крупнейшей в Средней Азии, а ее плотина — самой высокой в мире, достигнув отметки в 335 м.

Строительство гидроузла было начато в 1978 г. и при низких темпах продолжалось до 1992 г. Во время паводка в 1993 г. из-за чрезмерно длительной эксплуатации временных сооружений значительная часть построек была разрушена, тоннели и подземные залы — затоплены. В связи с этим строительство гидроузла приостановили. Строительные работы возобновились лишь в 2007 г.

Для проектирования Рогунской ГЭС, которое в настоящее время ведет ОАО «Институт Гидропроект», необходимо было выполнить инженерно-геодезические изыскания объекта. Они включали съемку местности для создания топографического плана участков строительства в масштабе 1:500 и получение цифровых моделей основных подземных сооружений Рогунской ГЭС, достоверно отражающих текущую ситуацию.

Топографическая съемка охватывала:

- участки местности вдоль русла реки Вахш, протяженностью 3 км по ущелью со скалами и непроходимыми склонами (крутизна порядка 50°, высота от 400 до 500 м), общая площадь участков съемки составила 82 гектара (в плане);

- склоны и скалы по руслу реки Обишур, общей площадью 50 гектар (в плане);

- искусственные сооружения Рогунской ГЭС: мосты, входные и выходные порталы, дороги, площадки, террасы для врезки тела плотины, входы основных и временных (строительных) тоннелей;

- подземный машинный зал (длина 220 м, ширина 22 м, максимальная высота 78 м);

- подземный трансформаторный зал (длина 200 м, ширина 20 м, максимальная высота 40 м);

- подземную затворную камеру (размером 90x17x21 м) с двумя участками временных тоннелей ГЭС (первый размером 200x19x9 м, а второй — 113x19x10 м).

По оценкам специалистов, работы такого объема в горных условиях с резко континенталь-

ным климатом традиционными геодезическими методами могли занять от 6 до 8 месяцев. При этом следует отметить, что выполнение измерений с помощью электронного тахеометра в безотражательном режиме значительно снижает достоверность съемки, так как объекты находятся от исполнителя за сотни метров. А привлечение для работы альпинистов может привести к удорожанию сметы в несколько раз. Применение метода фототеодолитной съемки также достаточно трудоемко и проблематично. Многочисленные фототеодолитные станции придется размещать на бортах ущелья, а у геодезистов пока еще нет вертолетов в повседневном пользовании.

Специалисты ООО «Навгеоком Инжиниринг» предложили использовать для этих целей метод наземного лазерного сканирования, что позволило выполнить весь объем полевых работ по съемке за 49 дней, в три этапа, бригадами по три человека, в период с июня по ноябрь 2009 г. Такой темп стал возможен благодаря многолетнему опыту и слаженности работы исполнителей при проведении топографических работ с использованием технологии наземного лазерного сканирования.

Перед описанием технологии съемки хотелось бы остановиться на условиях проведения работ. Они были близкими к экстремальным, поскольку работы велись в условиях строительства, в горной местности и в сложных погодно-климатических условиях. Днем температура воздуха значительно повышалась, а ночью бывали и заморозки. Часто обрушивались ливневые дожди со сходом селевых потоков (рис. 1). Падающие со склонов камни и без того представляли собой постоянную угрозу. Съемка дневной поверхности также осложня-



Рис. 1
Сход селевого потока

лась непроходимостью отдельных горных участков. При наличии временных дорог вдоль русла реки не всегда удавалось найти оптимальное месторасположение станций (рис. 2). Для сканирования некоторых участков приходилось временно становиться «альпинистами». Затрудняли съемку соседствующие горные породы с разной отражающей способностью. Специфические сложности возникли и при съемке подземных сооружений. Работу сильно осложняли перебои с освещением, большая запыленность от постоянных буровзрывных работ, шум работающей строительной техники и, в особенности, ее выхлопные газы. Это резко снижало рабочую дальность и плотность измерений. Перечисленные факторы требовали от исполнителей проекта постоянного принятия оперативных решений для безопасного проведения работ и сохранения работоспособности дорогостоящего оборудования.

Первые два этапа работ включали съемку участков местности вдоль реки Вахш (82 га) и подземных сооружений. Все измерения были выполнены с помощью импульсного лазерного сканера Trimble

GX (дальность измерений до 350 м, точность измерений 5–10 мм, скорость до 5000 точек/с). Съемка проводилась способом «известной станции» (установка сканера на точку с известными координатами). Для этого, с пунктов строительной геодезической сети с помощью электронного тахеометра Nikon NPL 362 (рис. 3) определялись координаты точки установки лазерного сканера и одной или двух марок. Координаты этих же марок определялись лазерным сканером, что позволяло «сшивать» все сканы в единое «облако точек». Месторасположение станций для установки лазерного сканера выбиралось таким образом, чтобы обеспечить равномерную съемку всех объектов (рис. 4). При съемке местности плотность сканирования составляла 25 точек/м² (на расстоянии



Рис. 2
Переправа через реку Обишур



Рис. 3
Измерения электронным тахеометром Nikon NPL 362



Рис. 4
Съемка сканером участка местности

100 м), а при съемке сооружений (рис. 5) плотность была увеличена до 40 тыс. точек/м² (на расстоянии 30 м). Одновременно с процессом сканирования операторы вели журнал с абрисами объектов съемки для последующей обработки измерений и создания топографических планов и обмерных чертежей. Электропитание сканера и ноутбука в полевых условиях обеспечивалось переносным бензогенератором.

Третий этап включал съемку вдоль русла селеопасной реки Обишур. Это левый приток Вахша, впадающий в него ниже выхода отводных тоннелей. Для обеспечения безопасности работ был использован им-

пульсный лазерный сканер Leica HDS 4400 с дальностью измерений до 700 м (рис. 6). Съемка также выполнялась методом «известной станции», но для ориентирования сканов использовалась предыдущая точка установки лазерного сканера. Следует отметить, эта сканирующая система отлично проявила себя в сложных горных условиях, ее рабочая дальность фактически составила 650 м.

В результате проведения полевых работ для каждого объекта был получен набор отдельных сканов. Привязка участков съемки не видимых с пунктов строительной сети осу-



Рис. 5
Съемка сканером подземного сооружения

ществлялась следующим образом. На таких участках электронным тахеометром от пунктов строительной сетки определялись координаты начальной и конечной станций и их марок. Между этими станциями лазерным сканером прокладывался самостоятельный ход, с точек которого выполнялась съемка. То есть с каждой предыдущей станции привязывалось местоположение следующей станции и одной (двух) марок ориентации. «Сшивки» ска-

нов в «облако точек» проводилась автоматически с помощью программного обеспечения Trimble RealWorks Survey. Точность «сшивки» контролировалась по отчетам, выдаваемым программой после обработки данных. Если по тем или иным причинам привязку по маркам сделать было невозможно или затруднительно, то такие сканы объединялись с единым «облаком точек» методом «сшивки по контурам» (стандартный метод, реализуемый большинством программ для обработки данных наземного лазерного сканирования).

Таким образом, координаты «облака точек» для каждого участка местности или сооружения получались в местной системе координат ГЭС. Эти первичные цифровые данные принято называть точечной трехмерной моделью. Трехмерная модель одного объекта может состоять из миллионов единичных измерений его поверхности. Никакая другая традиционная технология не в состоянии обеспечить подобное количество измерений за столь короткое время.

По окончании съемки каждого участка местности и сооружения в камеральный отдел оперативно передавались: точечная трехмерная модель, фотографии местности (сооружения), полученные обычной цифровой фотокамерой, и абрисный журнал с нанесенной ситуацией.

Для создания топографического плана масштаба 1:500 «облака точек» обрабатывались в программе Trimble RealWorks Survey (рис. 7). Далее в программе Autodesk Civil 3D по цифровой модели строился рельеф, а в программе AutoCAD проводилось окончательное вычерчивание топографических планов. Сооружения и другие детали местности легко идентифицировались в «обла-

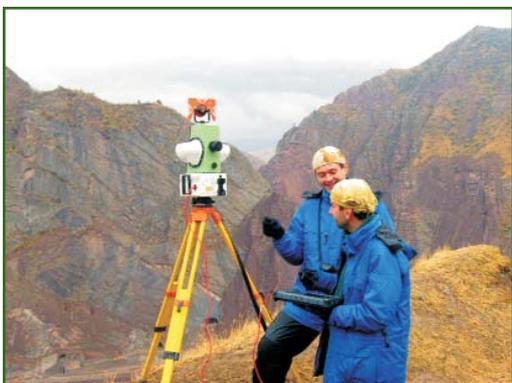


Рис. 6
Измерения с помощью импульсного лазерного сканера Leica HDS 4400

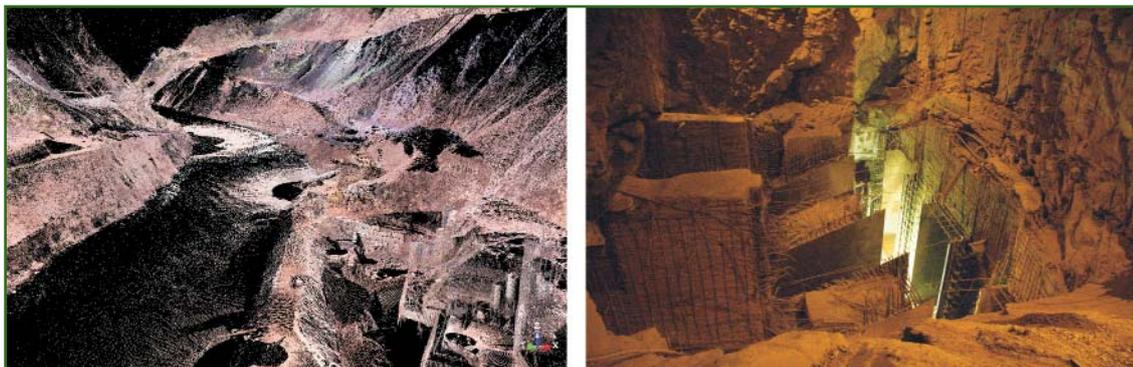


Рис. 7
«Облака точек» после обработки в ПО Trimble Real Works Survey

ке точек» по отчетливо различимым габаритам и характерным точкам. В результате был получен подробный и достоверный топографический план горной местности района строительства Рогунской ГЭС в масштабе 1:500 (рис. 8). Сечения и разрезы подземных сооружений строились в масштабе 1:20 по точечным трехмерным моделям в программах Real Works Survey и AutoCAD. Совокупность построенных горизонтальных и вертикальных сечений, находящихся в исходной системе координат, составила векторную трехмерную модель объекта в среде AutoCAD. Цифровые топографические планы и трехмерные модели сооружений были сданы заказчику в электронном виде, в формате AutoCAD.

В заключение, отметим очевидные практические преимущества использования технологии наземного лазерного сканирования перед традиционными методами наземной топографической съемки:

- высокая скорость измерений (в десятки и сотни раз превышающая традиционные геодезические наземные методы съемки) достигается без потерь точности;

- существенно сокращается время и затраты (особенно на этапе полевых работ);

- избыточность измерений позволяет получить дополни-



Рис. 8
Фрагмент цифрового топографического плана в масштабе 1:500

тельную информацию об объекте;

- измерения проводятся без остановки производственного процесса предприятия, при повышении безопасности выполнения работ в целом;

- полученная цифровая трехмерная модель объекта позволяет в камеральных условиях на компьютере выполнить любые измерения геометрических параметров объекта;

- результаты измерений, представленные в виде точечной и/или векторной трехмерной модели, могут быть экспортированы практически в любую САПР;

- информация об объекте сохраняется в цифровом виде, актуальном на конкретную дату съемки, и в дальнейшем может быть использована как для ор-

ганизации мониторинга за состоянием объекта в целом или его отдельных элементов, так и в период эксплуатации объекта, для управления производственными процессами.

RESUME

A project to fulfill large-scale topographic survey of the Rogunskaya hydroelectric power station construction area (the Republic of Tadjikistan) is considered in detail. This project was fulfilled by the Navegeocom Engineering company in 2009 using the ground laser scanning technique. Application advantages of using ground laser scanning technology for digital mapping on a scale of 1:500 for both field and office processing are marked against traditional geodetic techniques of ground surveying.