

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИБОРОВ LEICA НА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС

С.С. Гутов (Саяно-Шушенская ГЭС, Республика Хакасия)

В 1978 г. окончил факультет инженерной геодезии СГГА по специальности «прикладная геодезия». С 1975 г. работал в Экспедиции 167 ГУГК, с 1977 г. — в «КрасноярскГЭСстрой» на строительстве объектов Саяно-Шушенской ГЭС, с 1995 г. — в фирме SABIR в Иране на строительстве плотины «Карун-3». С 1996 г. по настоящее время — ведущий инженер группы геодезического контроля на Саяно-Шушенской ГЭС.

Ю.В. Спиридонов (ХакасТИСИЗ, Абакан)

С 1966 г. работал на строительстве Саяно-Шушенской ГЭС, с 1972 г. — в экспедициях Ленгидропроекта на изысканиях и наблюдениях за гидросооружениями Зейской ГЭС и Саяно-Шушенской ГЭС. В 1978 г. окончил специальные курсы техников-топографов при Ленгидропроекте. С 1992 г. работал инженером в группе геодезического контроля на Саяно-Шушенской ГЭС. С 2003 г., после выхода на пенсию, и по настоящее время принимает участие в отдельных договорных работах по геодезическим наблюдениям на Вилюйской ГЭС-3, Бурейской ГЭС и изыскательских работах в ФГУП «ХакасТИСИЗ».

Геодезические наблюдения за состоянием такого крупного гидросооружения, как плотина Саяно-Шушенской ГЭС (рис. 1) велись еще со времени строительства и продолжают после ввода его в эксплуатацию. В связи с большим объемом наблюдений, высокими требованиями к их точности и необходимостью снижения затрат труда и времени на выполнение измерений несколько лет назад возникла необходимость в обновлении инструментального парка новыми высокоточными и более производительными приборами.

После изучения предлагаемого в России геодезического оборудования различных компаний были выбраны приборы

производства Leica Geosystems (Швейцария). Мы обратились в ООО «Фирма Г.Ф.К.», которая более 10 лет поставляет оборудование Leica Geosystems на российский рынок. Специалисты компании, опираясь на собственный опыт, помогли нам не только выбрать необходимое оборудование для выполнения всего комплекса работ, но и оказали профессиональную поддержку при освоении, внедрении и последующей эксплуатации этого оборудования для наблюдения за деформациями на Саяно-Шушенской ГЭС. По их рекомендациям были приобретены: электронный тахеометр TC2003, две дальномерные насадки DI2002, нивелир NAK2, электронный тахеометр TC600, лазерные рулетки DISTO_PRO.

Рассмотрим более подробно опыт использования этих приборов в течение нескольких лет для решения различных задач, возникающих при эксплуатации сложного гидротехнического сооружения — Саяно-Шушенской ГЭС.

Тахеометр TC2003 и одна из насадок DI2002, установленная на трубу отечественного теодолита, применяются для наблюдений методом трилатерации за

смещением плотины относительно пунктов плановой опорной сети и для контроля положения опорной сети. Все пункты закреплены специальными знаками, где обеспечивается принудительное центрирование приборов на оголовке знака (рис. 2). При измерении смещений плотины в сети трилатерации измеряется около шестидесяти линий, длиной до 1,5 км. При оценке точности измерений в свободной сети (по внутренней сходимости, без координатных условий исходных пунктов) СКО измерения стороны данными приборами получается 0,3–0,4 мм. Если выполняется привязка к опорной сети (исходным пунктам), то СКО несколько увеличивается. Это объясняется как ошибками учета метеоусловий, имеющимися ошибками в определении координат пунктов опорной сети, так и возможными их смещениями, вызванными локальной деформацией земной поверхности при наполнении и работе водохранилища. Но и в этом случае СКО измерения линии, как правило, не превышает 1 мм.

Кроме того, на Саяно-Шушенской ГЭС электронный тахеометр TC2003 успешно применяется



Рис. 1
Общий вид плотины Саяно-Шушенской ГЭС

для контроля геометрических параметров таких деталей гидроагрегатов, как шахта статора и полюса ротора. Для определения формы шахты статора радиусом $R = 5925$ мм на основе минипризмы был изготовлен отражатель, который при помощи магнита надежно фиксируется на стальной поверхности, позволяет быстро выполнить послойную съемку стенок шахты и получить абсолютные значения расстояний относительно оси вращения вала турбины с точностью не грубее $m = \pm 0,3$ мм.

Использование ТС2003, но уже с другим приспособлением на базе минипризмы, позволяет получить форму ротора по полюсам в абсолютных величинах, а не относительных. Раньше измерения проводились специальным щупом относительно фиксированной точки на статоре с проворотом ротора для каждого полюса (всего их 42), что требовало огромных затрат времени по сравнению с новым методом.

Хорошие результаты были получены при определении износа тормозных колодок ротора методом тригонометрического нивелирования с использованием ТС2003 и прецизионного отражателя компании Leica Geosystems. Стесненные условия, слабая освещенность и малое пространство между тормозными колодками и оборудованием не позволяют применять геометрическое нивелирование. Тригонометрическое нивелирование короткими лучами при измерении с шести станций и с углами наклона близкими к горизонту, позволили определить величину износа тормозных колодок со средней квадратической ошибкой $\pm 0,3$ мм.

Методом тригонометрического нивелирования было выполнено исследование перемещений штока электрогидравлического преобразователя. Диапазон вертикального перемещения штока при изменении напряжения от -5 до $+5$ мВ состав-

ляет 5,2 мм. Измерение углов на шток, при наклоне близком к горизонту, выполнялось полным приемом на расстоянии 2,5 м с шагом изменения напряжения 1 мВ. Расстояние до центра штока было тщательно измерено до и после угловых измерений. При вычислениях превышений оно принималось как неизменное для каждого измеренного угла наклона. По оценке точности полученных результатов, ошибки превышений были получены не грубее $m_h = 0,05$ мм.

Нивелир NAK2 применяется для определения вертикальных перемещений плотины и сооружений ГЭС относительно двух кустов фундаментальных реперов, удаленных от плотины на расстояние около 3 км. Общая длина нивелирного хода более 6 км. По результатам уравнивания разных циклов измерений ошибка определения высоты в наиболее слабом месте (район плотины) составляет 1–1,3 мм.

На базе одной из насадок DI2002 сконструированы элеваторы для передачи высот и связи между гидростатическими нивелирами, расположенными на разных горизонтах внутри плотины. Ранее применявшиеся элеваторы из инварной проволоки плохо сохраняли во времени длину, кроме того, с компарированием проволок имелись определенные трудности. Благодаря малым габаритам DI2002, новые элеваторы удалось размес-

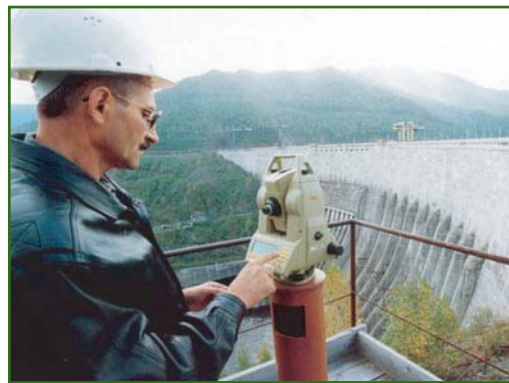


Рис. 2
Принудительное центрирование электронного тахеометра на знаке

тить в защитных трубах вместе с прямыми отвесами. Элеватор высот представляет собой ряд столиков, установленных на одной вертикали, но на разных горизонтах с превышениями от 12 до 130 м. Для обеспечения сквозной видимости, столики изготовлены в виде кольца и имеют контактные точки для фиксации отражателей и дальнометра DI2002. Конструкция элеватора позволяет, переставляя дальномер и отражатели, измерять вертикальное расстояние сверху вниз целиком и по частям, в различных комбинациях (рис. 3). Значения измеренных расстояний выдаются на дисплее насадки с точностью до 0,1 мм. При обработке измерений на элеваторе, как и всех светодальномерных измерений, учитываются атмосферное давление и температура воздуха. В качестве эксперимента на нескольких элеваторах были выполнены измерения всех возможных комбинаций, и сделана оценка точности. На основании результатов уравнивания получена СКО измерения линии 0,1 мм. Поправки при уравнивании редко достигают 0,2 мм. Т. е., при заявленной точности завода изготовителя $m_s = 1$ мм + 1 ppm, на коротких расстояниях реально получаем $m_s = \pm 0,1$ мм. В практической работе число избыточных измерений уменьшено до минимума, обеспечивающего контроль измере-



Рис. 3
Измерение расстояния дальномером DI2002 на элеваторе

ний. Наличие двух дальномерных насадок позволяет выполнять их взаимный метрологический контроль в межповерочный период.

С помощью лазерных рулеток DISTO_PRO на Саяно-Шушенской ГЭС решена проблема автоматизации наблюдений за уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах у плотины. Диапазон измерений составляет 10–50 м. Рулетки установлены стационарно в специальных помещениях с постоянной температурой. Измерение уровней происходит в колодцах, вода которых соединяется с рекой или водохранилищем. Для надежного отражения лазерного луча поверхность воды покрыта тонким слоем пенопластовой крошки. Дискретность измерений задается с центрального диспетчерского пункта, куда по кабелю и поступают данные измерений уровня воды. Ранее использовавшиеся системы ДСУ-2 для измерения уровней обеспечи-

вали точность $m = \pm 25$ мм при многочисленных сбоях в процессе измерений. При измерениях с помощью лазерных рулеток DISTO_PRO мы оперативно получаем результаты с точностью на порядок выше, и которая практически зависит только от неровности отражающей поверхности.

Следует отметить действительно высокую надежность, точность и стабильность рабочих параметров во времени для приборов компании Leica Geosystems. Кроме положенной ежегодной метрологической аттестации на Саяно-Шушенской ГЭС выполняется текущий контроль дальномеров путем сличения их между собой. Так, выполняя серии (практически одновременных) измерений одних и тех же линий тахеометрами и дальномерными насадками, между любыми из них мы получали систематическое расхождение в масштабы менее 0,5 мм на 1 км расстояния, в том числе и

для тахеометра TC600, не относящегося к высокоточной серии.

На основе практического опыта работы можно утверждать, что с помощью приборов Leica Geosystems вполне можно выполнять измерения с точностью, значительно выше той, которая заявлена фирмой-изготовителем. При этом, за пять лет эксплуатации не было ни одного случая отказа приборов.

RESUME

Monitoring of the Sayano-Shushenskaya Water Power Plant's dam deformations is described. The survey is conducted with the up-to-date electronic tacheometers, ranging attachments and the laser distance meters. In addition their usage for controlling hydraulic units, transferring heights to various levels inside the dam and the water level control in the plant's upper and lower pools is presented. High precision, reliability and efficiency of the Leica Geosystems equipment are marked.

Аэрофотосъемка

Фотограмметрия

Лазерное сканирование

3D моделирование

www.cpgeo.ru тел.: 411-04-20, 411-03-50, факс: 744-49-17 office@cpgeo.ru