

Т. Н. ЧАЛЮК

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗБИВКИ АРОЧНЫХ ПЛОТИН

Арочные плотины, воздвигаемые на больших горных реках, относятся к числу уникальных инженерных сооружений. Они характеризуются огромными размерами (высота — 300 м, длина — 600—800 м, толщина у основания — 50 м, у гребня — 10 м) и большой сложностью геометрических построений.

При сооружении арочных плотин очень важное значение приобретают инженерно-геодезические разбивочные работы, сопровождающие все этапы строительства.

Основой для всех разбивочных работ, выполняемых при строительстве арочных плотин, является плановая разбивочная сеть, создаваемая обычно по методу триангуляции. Ее часто называют гидротехнической или плотинной триангуляцией.

При создании плотинной триангуляционной сети сохраняется обычный порядок, то есть сначала на крупномасштабном топографическом плане на район строительной площадки плотины с учетом генплана составляется проект сети, затем в результате рекогносцировки выбираются окончательные места для пунктов сети, закладываются центры, сооружаются наружные знаки, производятся угловые и линейные измерения на пунктах сети, выполняется уравнивание сети и в завершение вычисляются координаты пунктов.

В настоящей статье мы остановимся отдельно только на некоторых вопросах, связанных с особенностями построения гидротехнической триангуляции в специфических условиях строительной площадки на территории арочных плотин.

Как мы уже отмечали выше, основное назначение плотинной триангуляции — обеспечить повседневное геодезическое обслуживание всех строительных работ в процессе возведения арочной плотины. Арочная плотина возводится путем последовательного бетонирования отдельных блоков, на которые разбивается ее тело. Каждый блок ограничен с боков температурно-усадочными швами, а с верхнего и нижнего бьефа — верховой

и низовой гранями. Размеры блоков будут различными в зависимости от того, в каком ярусе (на какой высоте от основания) и на каком удалении от ключевого сечения они находятся. Обычно максимальная ширина блока по верховой грани — 20 м, минимальная ширина по низовой грани — 12 м. В ключевом сечении толщина блока 50 м в основании, 10 м по гребню. При сооружении плотины применяется передвижная консольная металлическая опалубка в виде щита размером 3×3 м. Бетон укладывается ярусами высотой 3 м в соответствии с высотой щитов.

Для каждого блока по ярусам проектная организация обычно дает проектные координаты шести его точек (четырех угловых и двух на средней линии) в условной системе осей плотины. Вполне очевидно, что плотинная триангуляция должна быть вычислена в этой же системе осей плотины. При этом осью x плотины является прямая, лежащая в отвесной плоскости, проходящей через ключевое сечение плотины. Ось y перпендикулярна к оси x и является касательной к низовой грани гребня плотины в ключевом сечении. За начало координат принимается точка пересечения этих осей. Чтобы координаты пунктов триангуляции и точек плотины не имели отрицательных значений, началу координат даются соответствующие условные значения (например, $x=1000$ м, $y=3000$ м). Внутри каждого блока, вблизи его середины, выбирается основная точка с известными (иногда заданными проектной организацией) проектными координатами.

Кроме проектных координат углов блока и основной точки, в рабочих чертежах даются координаты краев всех щитов, устанавливаемых по верховой и низовой грани блока. Вполне очевидно, что для установки щитов опалубки в проектное положение, нужно прежде всего вынести на каждый ярус блока основную точку. Основная точка блока должна выноситься в натуру от пунктов триангуляции. В практике для этой цели чаще всего применяют способы прямой угловой, обратной и створной засечек.

Принимая во внимание это обстоятельство, а также учитывая специфические условия местности в районе расположения арочных плотин и накопленный отечественной практикой опыт создания триангуляционных сетей на крупнейших гидроузлах страны, можно дать некоторые практические рекомендации по построению плотинной триангуляции. Схема триангуляционной сети должна быть простой и в то же время жесткой. Этому условию лучшим образом удовлетворяет система из геодезических четырехугольников, расположенных на обоих берегах реки на разных ярусах и связанных между собой общими сторонами. При этом конфигурация сети должна соответствовать выгоднейшим геометрическим построениям. В сети необходимо измерить непосредственно две стороны-базисы. В дальнейшем при уравнивании сеть рассматривается как сво-

бодная. Места для пунктов триангуляции должны быть выбраны с учетом их устойчивости и обеспечения выгоднейших условий для разбивки с них основных точек блоков плотины по способу прямой и обратной засечек.

Вокруг каждого пункта должна быть устроена площадка размером не менее $1,5 \times 1,5$ м, позволяющая безопасно производить на них угловые измерения. Углы в геодезических четырехугольниках не следует допускать менее $25-30^\circ$.

В связи с тем, что в районе врезки плотины производится разработка скалы на обоих берегах ущелья, очень усложняется вопрос размещения и закрепления пунктов триангуляции. Это обстоятельство обуславливает необходимость создания двухступенчатой триангуляционной сети. К первой ступени следует отнести локальную триангуляционную сеть, пункты и базисы которой располагаются вне зоны воздействия строительных работ и сейсмических явлений и определяются с более высокой точностью. Ко второй ступени относятся пункты сети сгущения, расположенные возможно ближе к плотине и обеспечивающие выгоднейшие условия выполнения разбивочных работ для каждого блока плотины. Положение этих пунктов определяется вставками их в треугольники, засечками и другими способами.

В силу разуплотнения скалы, естественного или вызванного производством врезки плотины, пункты сгущения не могут считаться устойчивыми. Для контроля положения пунктов и частичного восстановления и пополнения их, сеть в целом должна периодически перенаблюдаться (не реже одного раза в год).

Пункты триангуляции первой и второй ступени должны быть определены с точностью, обеспечивающей разбивку арочной плотины с соблюдением требуемых допусков.

Согласно технических условий средняя квадратическая ошибка выноса в натуру контурных точек щитовой опалубки на каждом блоке плотины относительно пунктов триангуляции не должна превышать ± 20 мм.

Общая ошибка разбивки контурных точек щитовой опалубки может быть подсчитана по формуле

$$m = \pm \sqrt{m_n^2 + m_o^2 + m_p^2}, \quad (1)$$

где m_n — влияние ошибок исходных данных (пунктов триангуляции) на точность разбивки; m_o — средняя квадратическая ошибка выноса в натуру основной точки блока по способу прямой или обратной угловой засечки (или любым другим способом); m_p — средняя квадратическая ошибка разбивки контурной (угловой) точки щитовой опалубки относительно основной точки любым из известных способов (например, полярных координат, створной, прямой или линейной засечки).

Для практического использования формулы (1) необходимо задаться соотношением между ошибками, входящими в пра-

вую ее часть (под знак радикала). Это соотношение может быть принято разным. В данном случае, учитывая то, что разбивка положения щитовой опалубки относительно основной точки блока, расположенной вблизи опалубки, может быть выполнена сравнительно просто и точно, выгодно принять принцип равного влияния указанных выше ошибок

$$m_n = m_o = m_p.$$

Тогда, согласно формулы (1)

$$m_n = m_o = m_p = \frac{m}{\sqrt{3}} = \pm \frac{20}{1,7} \approx 12 \text{ мм.} \quad (2)$$

Если сеть триангуляции состоит из двух ступеней, то

$$m_n = \pm \sqrt{u_{n_1}^2 + m_{n_2}^2}, \quad (3)$$

где m_{n_1} — ошибка исходных данных, то есть пунктов триангуляции первой ступени; m_{n_2} — ошибка пунктов триангуляции второй ступени. Так как сеть триангуляции первой ступени по своей точности должна быть выше сети второй ступени, ибо с ее пунктов мы контролируем положение пунктов сгущения, то надо принять

$$m_{n_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} m_{n_2}. \quad (4)$$

Получим

$$m_{n_2} = \frac{m_n}{\sqrt{1,5}} \approx 10 \text{ мм}; \quad (5) \quad m_{n_1} = \frac{m_n}{\sqrt{3}} \approx 7 \text{ мм.} \quad (6)$$

Принимая ошибку в наиболее слабо определяемой стороне триангуляционной сети $m_a = 7 \text{ мм}$ и среднее расстояние между пунктами триангуляции первой ступени 500 м, найдем

$$\frac{m_a}{a} = \frac{7}{500\,000} \approx \frac{1}{70\,000},$$

или с некоторым запасом точности

$$\frac{m_a}{a} = \frac{1}{100\,000}. \quad (7)$$

Относительную ошибку измерения базиса в сети можно принять равной

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{3} \cdot \frac{m_a}{a} = \frac{1}{300\,000}. \quad (8)$$

Тогда, исходя из известной формулы

$$m_3 = \pm \sqrt{\frac{m_{1ga}^2 - m_{1gb}^2}{0,4 \sum R}}, \quad (9)$$

легко найти допустимую ошибку измерения углов на пунктах триангуляции.

Как показывают расчеты, средняя квадратическая ошибка измерения углов на пунктах триангуляции первой ступени не должна превышать $\pm 1,5-2'',0$, то есть

$$m_B = \pm 1,5-2'',0. \quad (10)$$

Ввиду того, что в сети триангуляции, создаваемой для разбивки арочных плотин, расстояния между пунктами короткие (300—500 м) на точность измерения углов сильное влияние оказывают ошибки центрировки и редукции. Так, при расстояниях между пунктами $S=300$ м допускаемые значения линейных элементов центрировки и редукции, при которых можно пренебречь влиянием ошибок за центрировку и редукцию, соответственно будут $l=0,6$ мм и $l_1=1,2$ мм.

Таким образом, центрирование инструмента и визирных целей должно выполняться очень тщательно. Чтобы полностью исключить ошибки за центрировку и редукцию пункты триангуляции рекомендуется закреплять бетонными пилонами сечением не менее $0,3 \times 0,3$ м квадратной или округлой формы, высотой 1,10—1,20 м от горизонтальной площадки с наглухо заделываемым в верхнюю плоскость пиллона гнездовым центром, принудительно центрирующим устанавливаемый в нем теодолит, визирную марку или специальный вкладыш (целик) с крестообразной насечкой для базисных измерений. В условиях горной местности при углах наклона линий визирования, достигающих 10—15° и больше, значительное влияние на точность измерения углов оказывает наклон вертикальной оси инструмента.

Это влияние может быть вычислено по формуле

$$m_{i_b} = i_b'' \cdot \operatorname{ctg} z, \quad (11)$$

где i_b — угол наклона вертикальной оси инструмента; z — зенитное расстояние данного направления.

При $i_b=15''$ и $z=75^\circ$ получим $m_{i_b}=4''$.

Таким образом, в измерениях на пунктах триангуляции направления необходимо вводить поправки за наклон вертикальной оси, а сами поправки тщательно определять. Не следует допускать углы наклона линий визирования более 15°.

В условиях горной местности на точность измерения углов на пунктах триангуляции заметное влияние могут оказать отклонения отвесных линий. Поэтому надо заранее знать возможные их значения в районе расположения триангуляционной сети. Что касается уравнивания плотинной триангуляции, то оно обычно производится по методу условных измерений. При этом поправки в длину базиса за приведение к уровню моря и за проектирование базиса на плоскость в проекции Гаусса не вводятся.

На площадках с большой разностью высот, что имеет место при строительстве арочных плотин, вводят поправки за приведение базиса к среднему уровню площадки.

Поправки вычисляются по формуле

$$\Delta b_H = -\frac{b}{R} \cdot H_m, \quad (12)$$

где H_m — превышение средней точки базиса над средним уровнем площадки; b — измеренная длина базиса; R — средний радиус Земли.

Работа поступила в редколлегию 20 января 1975 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии Львовского политехнического института.
