

Т. Н. ЧАЛЮК

ОСНОВНЫЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ АРОЧНЫХ ПЛОТИН

При сооружении арочных плотин обычно применяют передвижную консольную металлическую опалубку размером 3×3 м. Бетон укладывают ярусами высотой 3 м, то есть в соответствии с высотой щитов. Для каждого блока по ярусам (через 3 м по высоте) проектной организацией даются координаты шести точек (четыре — угловые, две — расположенные на оси, как показано на рис. 1). Проектные координаты вычисляют в условной прямоугольной системе координат осей плотины [1]. В этой же системе даются координаты всех пунктов гидротехнической (плотинной) триангуляции, используемые для разбивки плотины.

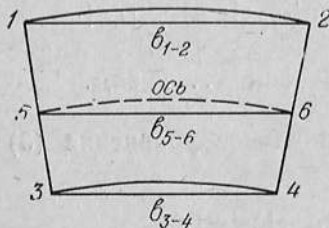


Рис. 1. Схема расположения угловых и осевых точек блока.

К основным разбивочным работам при сооружении арочных плотин относится вынесение в натуру точек, определяющих положение на блоке плотины передвижной консольной металлической опалубки. Поскольку форма и проектные размеры блоков бетонирования и щитов передвижной консольной металлической опалубки известны, можно определить проектные координаты угловых точек не только блока, но и каждого щита опалубки, что значительно облегчает и упрощает организацию

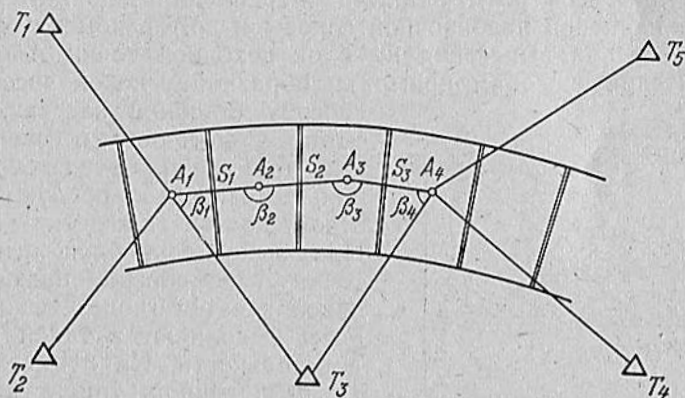


Рис. 2. Схема размещения и разбивки исходных точек на блоках арочной плотины.

геодезических работ по разбивке блоков бетонирования. Основную трудность при разбивке блоков представляет определение на блоке так называемой исходной точки A (рис. 2). Разбивочные работы удобнее производить, если эта точка выбрана вблизи середины данного блока. Ее положение задается проектными координатами. Пользуясь пунктами плотинной триангуляционной сети и проектными координатами исходной точки A на данном блоке, выносят в натуру тем или иным способом исходную точку A . Затем относительно этой точки (то есть с этой точки) выполняют разбивку точек, определяющих проектное положение щитовой опалубки. При этом исходные данные для их разбивки получают из решения обратных геодезических задач по проектным координатам этих точек (угловых точек щитовой опалубки) и исходной точки A . Поскольку проектные координаты указанных точек нам заранее известны, все исходные данные можно также заранее вычислить и указать на рабочих чертежах, что обычно и делают проектные организации, разрабатывающие проект данной арочной плотины.

Мы установили [1], что для выноса в натуру точек, определяющих проектное положение щитовой опалубки (с ошибкой ± 20 мм относительно пунктов триангуляции), необходимо, чтобы ошибки в положении пунктов триангуляции не превышали $\pm 7-10$ мм, а в положении исходной точки A ± 12 мм. Таким

образом, построение плановой разбивочной основы и сама разбивка исходных точек на блоках плотины должны выполняться с достаточно высокой точностью. Положение исходной точки A на данном блоке бетонирования может быть получено различными способами, известными в инженерной геодезии. Применительно к условиям строительной площадки арочной плотины (сложный рельеф, трудный доступ к пунктам триангуляции, отсутствие возможности непосредственных линейных измерений, трудности в размещении и закреплении дополнительных пунктов плановой разбивочной основы и др.) рекомендуем при выборе способа вынесения на блок исходной точки A отдать предпочтение способам прямой и обратной угловой засечки и способу створной засечки. Рассмотрим методику и особенности применения этих способов при геодезическом обслуживании строительства арочных плотин. При выносе на блок исходной точки A по способу прямой угловой засечки геодезические работы выполняют в такой последовательности. На пунктах T_1 и T_2 разбивочной триангуляционной сети, обеспечивающих наилучшие условия для прямой угловой засечки (угол γ не менее 60°), устанавливают теодолиты, приводят их в рабочее

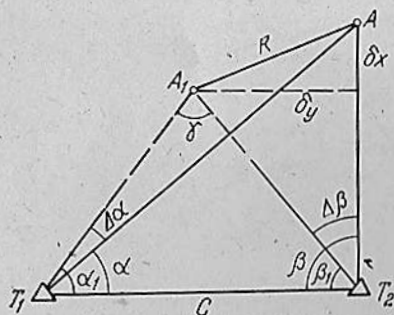


Рис. 3. Разбивка исходной точки блока бетонирования способом угловой засечки.

положение и путем одновременного откладывания заранее вычисленных проектных углов засечки α и β (рис. 3) находят на пересечении визирных осей положение на блоке исходной точки A_1 . Эту точку фиксируют временным знаком, а затем на пунктах T_1 и T_2 измеряют с требуемой точностью углы α и β между направлениями на второй пункт триангуляции и на полученную на блоке точку A_1 . По координатам пунктов триангуляции T_1 и T_2 и измеренным углам α_1 и β_1 вычисляют координаты точки A_1 , после чего по проектным и вычисленным координатам точки A_1 находят элементы редукции и смещают точку в проектное положение A . Для уточнения результатов рекомендуется после измерения углов α_1 и β_1 перейти с теодолитом на точку A_1 и измерить с той же точностью угол γ_1 , что дает возможность произвести уравнивание треугольника $T_1T_2A_1$. Для вычисления элементов редукции можно применить простые дифференциальные формулы [2]:

$$\delta x = k_1 \cdot \Delta \alpha'' + k_2 \cdot \Delta \beta'' \dots; \quad (1) \quad \delta y = k_3 \cdot \Delta \alpha'' + k_4 \cdot \Delta \beta'' \dots; \quad (2)$$

$$R = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}; \quad \varphi = \arctg \frac{\delta y}{\delta x}; \quad (3)$$

$$\text{где } k_1 = -b_2/D; \quad k_2 = -b_1/D; \quad k_3 = a_2/D; \quad k_4 = a_1/D; \quad (4)$$

$$D = a_1 b_2 - a_2 b_1; \quad (5) \quad a = -\frac{\rho \sin \alpha}{S}; \quad b = \frac{\rho \cos \alpha}{S}. \quad (6)$$

a_1 и b_1 — коэффициенты для линии T_1A (рис. 3); a_2 и b_2 — то же для линии T_2A ; S_1 и S_2 — длины линий T_1A и T_2A .

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha; \quad (7) \quad \Delta\beta = \beta_1 - \beta; \quad (8)$$

α и β — проектные углы засечки; α_1 и β_1 — измеренные значения углов засечки.

$$\delta x = x' - x; \quad (9) \quad \delta y = y' - y; \quad (10)$$

x и y — проектные координаты точки A ; x' и y' — полученные (вычисленные) координаты точки A_1 , φ — дирекционный угол линии AA_1 .

Применение этих формул освобождает от громоздких вычислений, связанных с определением измеренных координат точки A_1 и тем самым упрощает и ускоряет процесс редуцирования исходной точки блока из предварительного положения A_1 в проектное положение A (рис. 3). Как известно, точность выноса в натуре точки по способу прямой угловой засечки определяют по формуле

$$m_{\text{пр.з}} = \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \frac{c}{\sin^2 \gamma} \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}, \quad (11)$$

где m_β — средняя квадратическая ошибка выноса в натуре проектного угла засечки (остальные обозначения даны на рис. 3).

Из формулы (11) получаем

$$m_\beta = \frac{m_{\text{пр.з}} \cdot \sin^2 \gamma}{c \sqrt{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}}. \quad (12)$$

Принимая $m_{\text{пр.з}} = 12$ мм, $\alpha = \beta = \gamma = 60^\circ$, $c = 400$ м, находим $m_\beta = \pm 4''$. Следовательно, для определения на блоке положения исходной точки блока способом прямой угловой засечки с ошибкой, не превышающей 10—12 мм, нужно углы α и β выносить в натуре с ошибкой m_β , не превышающей 3—4''. Способ прямой угловой засечки довольно прост и обеспечивает требуемую точность разбивки. К недостаткам этого способа следует отнести необходимость становиться с теодолитом на пунктах триангуляции, что при расположении их в трудно доступных местах усложняет выполнение разбивочных работ.

При вынесении на блок исходной точки A способом обратной засечки геодезические работы проводят в такой последовательности. В отличие от способа прямой угловой засечки все

полевые работы при разбивке исходной точки способом обратной засечки выполняются на самой исходной точке. Сначала тем или иным способом определяют на блоке приближенное положение точки A_1 (с ошибкой не более 0,5 м). Затем над этой точкой, закрепленной временным знаком, устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют углы α и β между направлениями на пункты триангуляции (рис. 4).

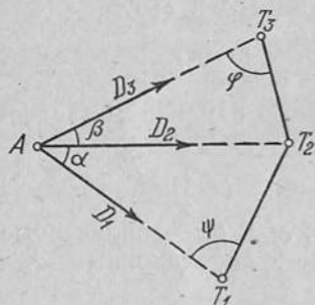


Рис. 4. Разбивка исходной точки блока бетонирования способом обратной засечки.

При этом выбирают такие четыре пункта, которые обеспечивают выгодные условия получения координат исходной точки A из двух комбинаций (для контроля и повышения точности). По вычисленным и проектным координатам исходной точки блока бетонирования находят элементы редукции и точку A_1 смещают в проектное положение A . Как и для способа прямой угловой засечки, описанного выше, элементы редукции можно определить по дифференциальным формулам, минуя тем самым громоздкие

вычисления координат точки A_1 . Дифференциальные формулы для обратной засечки имеют вид:

$$\delta x = k_1 \cdot \Delta \alpha'' + k_2 \cdot \Delta \beta''; \quad (13) \quad \delta y = k_3 \cdot \Delta \alpha'' + k_4 \cdot \Delta \beta''; \quad (14)$$

$$k_1 = B_2/D; \quad k_2 = -B_1/D; \quad k_3 = -A_2/D; \quad k_4 = A_1/D; \quad (15)$$

$$D = A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1; \quad (16)$$

$$A_1 = a_2 - a_1; \quad A_2 = a_3 - a_2; \quad (17) \quad B_1 = b_2 - b_1; \quad B_2 = b_3 - b_2; \quad (18)$$

$$a = -\frac{\sin \alpha}{S_{KM}} \cdot \frac{\rho}{10^6}; \quad b = \frac{\cos \alpha}{S_{KM}} \cdot \frac{\rho}{10^6}; \quad (19)$$

$$\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha; \quad \Delta \beta = \beta_1 - \beta; \quad (20)$$

где α, β -- проектные углы, α_1, β_1 -- измеренные углы. Нахождение элементов редукции по дифференциальным формулам (1), (2) и (13), (14) можно значительно упростить, если для δx и δy построить специальные номограммы. Для оценки точности обратной засечки применяют разные формулы. Ниже приводится одна из наиболее простых:

$$m_{0.3} = \frac{D_2 \cdot m_{\beta}''}{\rho'' \sin(\varphi + \psi)} \cdot \sqrt{\frac{D_1^2}{a_1^2} + \frac{D_2^2}{a_3^2}} \quad (21)$$

или после замены под радикалом отношений сторон отношением синусов противоположных углов:

$$m_{0,3} = \frac{D_2 \cdot m_\beta}{\rho'' \sin(\varphi + \psi)} \cdot \sqrt{\frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2 \beta} + \frac{\sin^2(\alpha + \psi)}{\sin^2 \alpha}}. \quad (22)$$

Обозначения, принятые в формулах (21) и (22), указаны на рис. 4. Допустимую ошибку m_β измерения углов α и β на определяемом пункте A получим, решив выражение (22) относительно m_β :

$$m_\beta = \frac{m_{0,3} \rho \sin(\varphi + \psi)}{D_2 \cdot \sqrt{\frac{\sin^2(\beta + \varphi)}{\sin^2 \beta} + \frac{\sin^2(\alpha + \psi)}{\sin^2 \alpha}}}. \quad (23)$$

Принимая $D_2 = 400$ м, $m_{0,3} = 12$ мм, $\alpha = \beta = \varphi = \psi = 60^\circ$, по формуле (23) находим $m_\beta = 3,6''$. Таким образом, при расстоянии от определяемой точки до пунктов триангуляции около 400 м и средней квадратической ошибке m_β измерения углов α и β , не превышающей $\pm 3,5''$, способ обратной засечки обеспечивает вынесение на блок бетонирования исходной точки A с ошибкой $\pm 10-12$ мм. Однако при этом не следует забывать, что точность обратной засечки в значительной степени зависит от выгоднейших условий взаимного расположения пунктов триангуляции и определяемой точки. Преимущество способа обратной засечки перед другими заключается в том, что все измерения проводятся на самом блоке. Это значительно сокращает сроки и снижает стоимость работ. Благодаря этому он широко применяется на практике. Наряду со способами прямой и обратной угловой засечки при разбивке арочных плотин используют способ створной засечки. Сущность его состоит в том, что предварительно должны быть выбраны и закреплены на местности соответствующими знаками створные пункты 1, 2, 3, 4, образующие створы 1—2 и 3—4, которые пересекаются в искомой точке A (рис. 5). При наличии закрепленных на местности створов 1—2 и 3—4 определить положение исходной точки A на блоке бетонирования очень просто. На створных пунктах, принадлежащих разным створам (например, на пунктах 1 и 3), устанавливают теодолиты, а в пунктах 2 и 4 — визирные цели. Первый теодолит ориентируют по створу 1—2, второй — по створу 3—4. Искомая точка находится на пересечении визирных осей обоих теодолитов. С точки зрения организации сама разбивка точек сооружений по способу створной засечки весьма простая, но в сложных условиях строительства арочных плотин часто не оправдывает себя по следующим причинам:

для получения исходных точек для отдельных блоков, расположенных в разных ярусах плотины, потребуется определить

и закрепить вблизи плотины очень большое количество створных знаков, что практически не всегда осуществимо;

при наличии на местности большого количества створных знаков их легко перепутать и в результате неправильно определить положение исходной точки;

необходимость установки двух теодолитов на створных пунктах, расположенных на значительном расстоянии от плотины (иногда в труднодоступных местах), с экономической

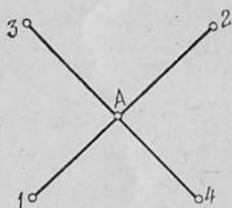


Рис. 5. Разбивка исходной точки блока бетонирования способом створной засечки.

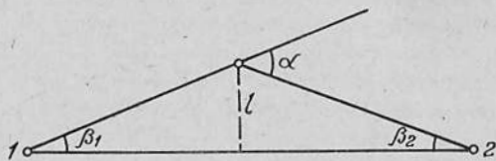


Рис. 6. Установка теодолита в створе линии по способу приближений.

точки зрения не выгодна, так как требует больших затрат времени и средств. Последнее обстоятельство на практике обходят тем, что вместо описанной выше традиционной методики разбивки точек сооружений створной засечкой применяют упрощенную. При этом разбивку исходной точки способом створной засечки производят непосредственно из блока бетонирования, устанавливая теодолит сначала в створе линии 1—2, а затем в створе линии 3—4. Установка теодолита в створе данной линии выполняется последовательными приближениями. Сначала теодолит устанавливают вблизи створа (и искомой точки) и определяют одним полуприемом угол α (рис. 6). По измеренному углу α и расстояниям S_1 и S_2 вычисляют величину l по формуле

$$l = \frac{\alpha}{\rho} \cdot \frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} \quad (24)$$

Теодолит перемещают на величину l в направлении створа. Затем снова измеряют угол α и вычисляют величину l , на которую опять перемещают теодолит. Такие последовательные перемещения продолжают до тех пор, пока измеренное значение угла α будет отличаться от нуля на величину не более $2m_\alpha$. Значение m_α можно найти по формуле

$$m_\alpha = \rho \cdot \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot S_2} \cdot m_l \quad (25)$$

Если принять $S_1 = S_2 = 50$ м, $m_l = 2$ мм, то $m_\alpha = 15''$ и, следовательно, $2m_\alpha = 30''$. После установки теодолита в створе пунктов

1—2 створную линию закрепляют на бетоне и устанавливают теодолит описанным способом в створе 3—4 и эту створную линию также закрепляют на бетоне. В пересечении вынесенных на бетон створов 1—2 и 3—4 находится исходная точка A блока. Для контроля необходимо на точке A установить теодолит и измерить несколькими приемами углы между пунктами 1, 2, 3 и 4. Наиболее сложной задачей в описанном упрощенном варианте применения способа створной засечки является точное перемещение теодолита в створ линии по вычисленной величине l , так как диапазон смещения теодолита на головке штатива ограничен, при откреплении и закреплении теодолита становым винтом он может несколько сместиться; кроме того, головка штатива может иметь наклон, затрудняющий точный учет смещения. При выборе данного способа разбивки целесообразно изготовить штатив специальной конструкции с нивелируемым столиком, по которому можно было бы точно перемещать микрометричным винтом теодолит на подставке в направлении, перпендикулярном створу. Использование такого штатива может значительно повысить точность разбивки этим способом.

Способ створной засечки при разбивке непосредственно из блока бетонирования имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной методикой визирования двумя теодолитами по двум пересекаемым в искомой точке створам: значительно сокращается объем полевых работ, вместо двух наблюдателей требуется только один, сам процесс разбивки прост, понятен и быстро выполняется, что позволяет свести к минимуму все промахи и ошибки в работе.

Как мы уже отмечали выше, вся плотина арочной плотины разбивается на многие блоки, расположенные на разных ярусах. Количество блоков исчисляется сотнями. Разбивка исходных точек на блоках относится к числу сложных и весьма точных инженерно-геодезических работ, требующих большой затраты труда и времени. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы определять исходные точки относительно пунктов триангуляции не на всех блоках, а только на каждом третьем или четвертом блоке. Мы рекомендуем определять способом прямой, обратной или створной засечки исходные точки только на блоках 1 и 4, то есть точки A_1 и A_4 (рис. 2). Положение точек A_2 и A_3 легко определить от полученных и закрепленных точек A_1 и A_4 по способу полярных координат по β_1 , S_1 и β_2 , S_2 , вычисленным из решения обратных задач по координатам соответствующих пунктов триангуляции и проектным координатам исходных точек A_1 , A_2 , A_3 и A_4 . Для контроля необходимо измерить расстояние S_2 между точками A_2 и A_3 и сравнить его с вычисленным значением. Расхождение между ними не должно превышать ± 15 мм. В некоторых случаях для разбивки исходных точек на блоках, лежащих на следующем по высоте ярусе, можно рекомендовать перенесение соответствующ-

щих точек вверх по вертикальной линии. Для этого над данной исходной точкой блока нижнего яруса можно установить вертикально трубу диаметром 20—30 см и забетонировать ее в теле данного блока. В основании трубы сделать вырезы (для возможной подсветки снизу) и заложить центр, фиксирующий положение исходной точки. Эту точку можно перенести на бетон верхнего блока с помощью отвеса, установленного над центром исходной точки на нижнем блоке.

Детальная разбивка каждого блока бетонирования сводится к тому, что сначала относительно исходной точки блока и какого-либо пункта триангуляции выносят на блок его угловые точки 1, 2, 3 и 4 (а иногда и осевые точки 5 и 6). Чаще всего это делают по способу полярных координат. Исходные данные получают из решения обратных задач по проектным координатам точки А и угловых точек блока 1, 2, 3, 4 (а также осевых точек 5 и 6).

Детальная разбивка точек, определяющих на блоке положение щитовой опалубки, может быть выполнена по методу полярных координат, линейной засечки или прямоугольных координат от хорды 1—2 для верховой грани и 3—4 для нижней грани. Исходные данные для разбивки получают из решения обратных задач по проектным координатам точки А и контурных точек щитовой опалубки. Все разбивочные работы должны обязательно контролироваться, чтобы не допустить возможных ошибок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чалюк Т. Н. К вопросу построения триангуляционных сетей для разбивки арочных плотин. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1976, вып. 23.

2. Баран П. И. Разбивка инженерных сооружений методом редуцирования. — «Инженерная геодезия», 1972, вып. 12.

Работа поступила 19 января 1976 года.
Рекомендована кафедрой прикладной геодезии Львовского политехнического института.