УДК 528.489:624.21

Н.Б.КОРАБЛЕВА
Факультет освоения подземного пространства,
группа ПГ-98

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ РАЗБИВОЧНЫХ МОСТОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ

Рассмотрены основные методы создания разбивочных мостовых геодезических сетей: мостовая триангуляция, трилатерация и линейно-угловые сети. Выявлены и обоснованы их достоинства и недостатки. Произведен предрасчет точности для каждого вида сети, построены эллипсы погрешностей. В результате анализа точности выявлено, что наименьшую ошибку вдоль оси мостового перехода обеспечивает развитие мостовой сети методом трилатерации, что является очень существенным, так как при строительстве мостов требования к точности вдоль оси моста выше, чем в поперечном направлении.

Выполнена экономическая оценка наиболее часто используемых методов построения разбивочных мостовых сетей: методов триангуляции и трилатерации. На основании проведенного исследования сделан вывод о целесообразности применения на производстве метода трилатерации.

Considered main methods of making the bridge geodetic networks: roadway a triangulation, trilatateration and single-line-angular networks. Reveal and are motivated their value and defect. Made precalculation of accuracy for each type to network, are build ellipses of inaccuracy. As a result of analysis of accuracy is reveal that least mistake along axis of bridge transition ensures a development an bridge to network by the method an trilatateration, that is very essential, since at the construction of bridges of requirement to accuracy along axis of bridge above, than in the transverse direction.

Executed economic evaluation the most often used methods of building of bridge networks: methods to triangulations and trilatateration. On the grounds of conducting study is made conclusion on practicability of using on the production of method an trilatateration.

Разбивочные сети служат для обеспечения выноса проекта мостового перехода в натуру. Вынос в натуру проекта мостового перехода выполняют в соответствии с основным принципом инженерной геодезии – переходом от общего к частному. От пунктов разбивочной сети в ходе строительства выносят в натуру центры и оси опор моста, регуляционных и других сооружений. Рационально расположенная и надежно закрепленная разбивочная сеть может служить основой и для наблюдений за смещениями моста в процессе его эксплуатации. Для исключения ошибок исходных данных разбивочные сети мостовых переходов создаются самостоятельно в своей системе (за ось абсцисс принимается ось мостового перехода) и только впоследствии они привязываются к общегосударственной сети. При проектировании разбивочной геодезической мостовой сети учитывают следующее:

- необходимость закрепления оси мостового перехода;
- сохранность пунктов сети в ходе строительства и после его завершения;
- удобство разбивки и контроля опор;
- необходимость увязки расположения пунктов сети с генеральным планом строительства с целью их сохранности и на период эксплуатации.

По сравнению с государственными геодезическими сетями разбивочные сети мостового перехода отличаются сравнительно короткими длинами сторон (от 0,2-0,5 до 1-2 км), но требуемая точность построения сетей остается высокой: средняя квад-

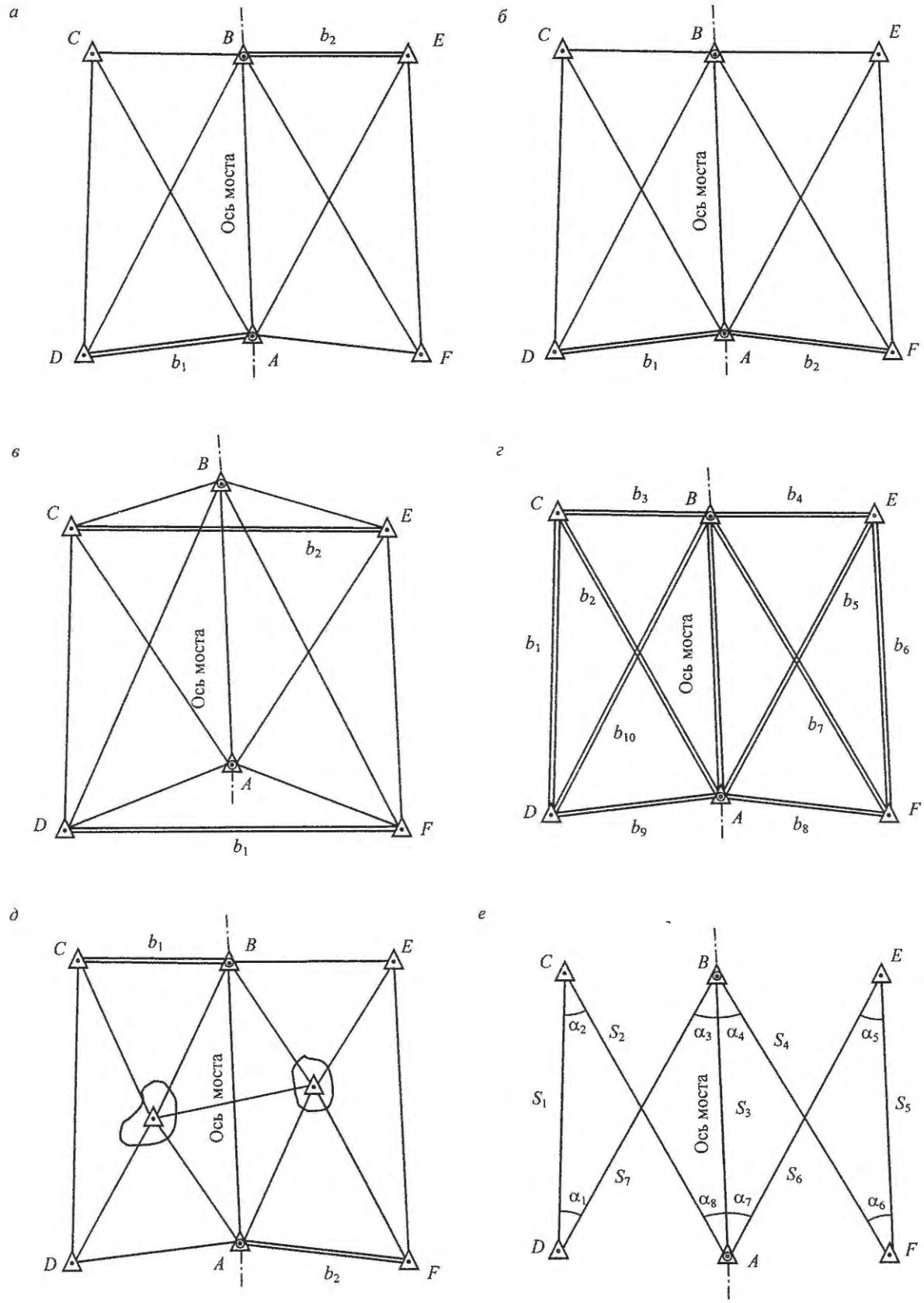


Рис.1. Разбивочные сети мостов

ратическая ошибка (СКО) угловых измерений не более 1,5-2". Опорные пункты должны быть определены с точностью в 2 раза большей, чем разбиваемые с них центры мостовых опор. Разбивочные сети мостов создают методами триангуляции, трилатерации и линейно-угловыми построениями (рис.1).

До начала широкого использования светодальномерной техники и электронной тахеометрии мостовая триангуляция была основным методом построения разбивочных сетей. Основной фигурой мостовой триангуляции является сдвоенный геодезический четырехугольник с двумя измеренными базисами (рис.1, *а-е*). Разбивочная сеть моста включает в себя ось моста *AB* и две выходных стороны *CD* и *EF* для построения геодезического четырехугольника. Форму геодезического четырехугольника выбирают, исходя из условия разбивки мостовых опор с пунктов мостового перехода. Короткие стороны четырехугольника (на берегах реки) равняются примерно половине длины мостового перехода. Для удобства выполнения разбивочных работ геодезический четырехугольник должен иметь вытянутую форму. Базисы обычно выбирают на берегу реки на равных горизонтальных участках с плотным грунтом и общим уклоном не более 2°. Для мостового перехода длиной *L* конечные точки базисов должны отстоять от оси моста на 0,4-0,6 *L*. Базисы должны быть примерно равны между собой, в пределах 20 %. Сеть проектируется таким образом, чтобы связующие углы в сети были не меньше 40° [1, 3].

Одним из основных источников ошибок при угловых измерениях в триангуляции является влияние внешних условий, главным образом боковой рефракции. Под рефракцией света понимают искривление световых лучей в одной и той же среде, обусловленное неодинаковой плотностью, а следовательно, различным показателем преломления на разных ее участках. Атмосфера Земли – оптически неоднородная среда, поэтому световой луч проходит путь от точки *A* к точке *B* не по прямой *AB*, а по сложной кривой двоякой кривизны оптически кратчайшим путем *AmB* (рис.2). Наблюдатель, находясь в точке *A*, видит изображение точки *B* не по направлению *AB*, а по касательной *AB'* к последнему элементу световой кривой *AmB* в точке *A*. Угол *B'AB* называется углом рефракции (рефракцией) в точке *A*, а горизонтальная составляющая его δ называется углом боковой рефракции (боковой рефракцией). Этот малый угол, как правило, не превышает 10", однако наличие боковой рефракции делает точное измерение горизонтальных углов сложной проблемой и, по существу, ограничивает дальнейшее повышение точности этих измерений. В целях ослабления влияний внешней среды на результаты угловых измерений, в том числе боковой рефракции, следует измерять горизонтальные направления и углы при хорошей и удовлетворительной видимости на спокойные или слегка колеблющиеся изображения визирных целей.

Наиболее существенное влияние на результаты угловых измерений оказывают местные поля боковой рефракции, характеризующиеся аномальной плотностью воздуха, обусловленной, в первую очередь, различиями температуры воздуха над сравнительно небольшими участками подстилающей поверхности (например, над водоемом и сухой почвой). Исследования показывают, что средняя квадратическая величина влияний боковой рефракции на горизонтальные направления в триангуляции зависит от расстояний и времени наблюдения. При неблагоприятных условиях ошибки в углах, обусловленные влиянием местных полей рефракции, нередко достигают 3-7" и более [5, 6]. Градиенты температуры воздуха над су-

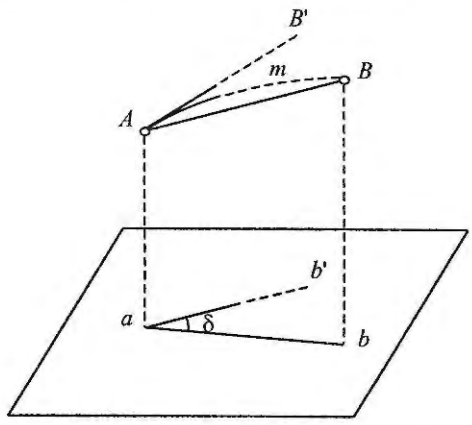


Рис.2. Угол боковой рефракции света

шей и над водной поверхностью, как правило, различны. Над сушей значение этого градиента больше, следовательно, можно ожидать отклонение визирного луча. Для уменьшения влияния боковой рефракции при работе на мостовых переходах угловые измерения следует производить, когда температура воды и воздуха примерно одинакова.

Как правило, неблагоприятные для угловых наблюдений условия на мостовых переходах, а также появление светодальномерной техники привели к тому, что в разбивочных работах на мостовых переходах стали внедрять более производительный метод – трилатерацию. При построении трилатерации на мостовых переходах, как и в триангуляции, основной формой сети служит геодезический четырехугольник, в котором измеряют длины всех сторон (см. рис.1, *г*). Необходимо отметить, что светодальномерные наблюдения обеспечивают более высокую производительность, обеспечивая при этом необходимую точность положения пунктов.

Для окончательного выбора метода создания геодезической сети был произведен предрасчет точности для сетей вида, изображенных на рис.1, *а, б, в* и *г*. Предрасчет выполнялся на ПЭВМ по программе XYH, которая позволяет найти параметры эллипса ошибок взаимного положения пунктов (в том числе m_S и $m\alpha$ – СКО сторон и дирекционных углов). Для производства работ предполагалось использовать тахеометр ELTA-3, который имеет следующие характеристики: точность угловых измерений 1,5", точность линейных измерений $3 + 2 \cdot 10^{-6} S$ мм.

Данные, полученные в результате предрасчета точности, представлены в таблице.

Для большей наглядности для всех видов сетей были построены эллипсы взаимного положения пунктов $C - D$ (рис.3). Известно, что при строительстве мостов требования к точности разбивки опор вдоль оси моста, как правило, выше, чем в поперечном направлении. Видно, что наименьшую ошибку вдоль оси моста обеспечивает эллипс *г* на рис.3, т.е. развитие мостовой сети методом трилатерации.

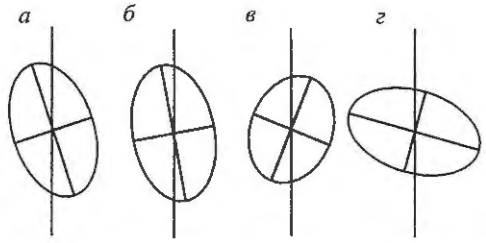


Рис. 3. Эллипсы ошибок взаимного положения пунктов $C - D$

Результаты предрасчета точности

Показатель	Триангуляция	Трилатерация	Допуск
СКО продольного сдвига, мм	4-6	4	6
СКО поперечного сдвига, мм	3-4	4-5	6
Относительная ошибка (среднее значение)	$\frac{1}{124\,000}$	$\frac{1}{155\,000}$	$\frac{1}{120\,000}$

Затем была произведена экономическая оценка данных методов. Выяснилось, что при применении трилатерации производительность труда возрастает на 14,3 %, затраты на заработную плату и отчисления снижаются на 18 %, а сметная стоимость работ на 20 %.

Выводы

1. Все сравниваемые виды сетей соответствуют по точности требованиям СНиП [4] и Инструкции [2].

2. Экономически более целесообразно применять метод трилатерации, так как он значительно повышает производительность труда и, следовательно, сокращает сроки выполнения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бронштейн Г.С.* Методы разбивки мостов / Г.С.Бронштейн, В.В.Грузинов, О.Н.Малковский и др. М.: Транспорт, 1982. 181 с.

2. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М.: Недра, 1966. 175 с.

3. *Левчук Г.П.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П.Левчук, В.Е.Новак, Н.Н.Лебедев. М.: Недра, 1983. 400 с.

4. СНиП 3.06.04 – 91. Мосты и трубы / Госстрой СССР. М., 1992. 168 с.

5. Справочник геодезиста. М.: Недра, 1975. Кн.1. 455 с.

6. *Яковлев Н.В.* Высшая геодезия. М.: Недра, 1989. 445 с.

Научный руководитель д.т.н. проф. *С.А.Коробков*