

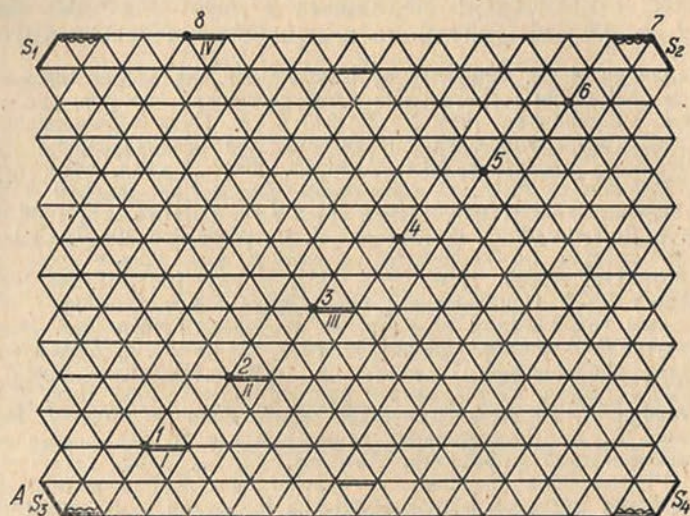
*Я. М. КОСТЕЦКАЯ*

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
МЕТОДА ТРИЛАТЕРАЦИИ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ПЛАНОВЫХ СЕТЕЙ 2 КЛАССА**

Действующая «Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР» [1] допускает применение метода трилатерации лишь для создания плановых сетей 3 и 4 классов. Это положение инструкции обосновано, вероятно, результатами исследований трилатерационных построений, выполнен-

ных в конце 50-х годов К. Л. Проворовым [3, 4] и вычислительной частью ГУГКа под руководством Д. А. Ларина и А. А. Пчелиной [5].

К. Л. Проворов сравнил точность взаимного положения пунктов сплошных сетей триангуляции и трилатерации, каждый ряд которых состоит из 16 треугольников со сторонами 7,5 км. Предполагалось, что в сети триангуляции углы измерены с точностью 1", а стороны в сети трилатерации с точностью



Макет ГУГКа сети 2 класса.

1 : 200 000 и 1 : 300 000. Исследования проведены с помощью выведенных К. Л. Проворовым формул [4]. Они показали, что в сети трилатерации со сторонами, измеренными с точностью 1 : 200 000, взаимное положение пунктов определяется в два раза грубее, чем в сети триангуляции. При точности измеренных сторон 1 : 300 000 точность взаимного положения пунктов в сети трилатерации ниже на 20%.

В ГУГКе исследование двух методов выполнено на макете сплошной заполняющей сети 2 класса. Макет построен из 14 рядов, каждый из которых состоит из 29 равносторонних треугольников со сторонами 12,5 км (см. рисунок). Размер исследуемой сети 200×200 км.

В сети триангуляции принято, что углы измерены с точностью 0,9", а исходными являются дирекционные углы пяти сторон (на рисунке они обозначены волнистыми линиями) и длины девяти сторон (жирные линии).

При рассмотрении этой же сети как трилатерационной считалось, что исходными являются лишь дирекционные углы тех же пяти сторон, а точность измеренных сторон — 1 : 200 000.

Коррелятным способом на ЭВМ в сети триангуляции и в сети трилатерации оценена точность положения восьми пунк-

тов относительно пункта А, точность дирекционных углов и длин четырех сторон (двойные линии на рисунке). Полученные в ГУГКе результаты приведены в таблице из [5]. Они показали, что точность всех оцениваемых элементов в сети трилатерации в два раза ниже, чем в сети триангуляции 2 класса.

Результаты, полученные К. Л. Проворовым и в ГУГКе, хорошо согласуются между собой и однозначно показывают, что сеть трилатерации со сторонами, измеренными с точностью 1:200 000, нельзя заменить сеть триангуляции 2 класса.

Точность измерения сторон 1:200 000 обеспечивают радиодальномеры. Светодальномеры дают более высокую точность. Но в 60-е гг. массовые линейные измерения можно было производить лишь радиодальномерами, так как светодальномеры тогда были громоздкими и сложными в обслуживании. Поэтому не случайно в двух описанных выше исследованиях принималась во внимание точность измеренных сторон, даваемая радиодальномерами. Правда, К. Л. Проворов рассмотрел также сеть трилатерации, точность измерения сторон которой равнялась 1:300 000. Такое повышение точности измеренных сторон сблизило точность взаимного положения пунктов сетей трилатерации и триангуляции 2 класса.

Современные геодезические светодальномеры не уступают радиодальномерам по массе и габаритам, а обслуживание их проще. Поэтому ситуация изменилась: для массовых линейных измерений можно рекомендовать геодезические светодальномеры СГ-3, геодинетр 8-й модели, «Гранат» и другие. Ими измеряют длины сторон с точностью 1:350 000...1:400 000, т. е. в два раза точнее, чем радиодальномерами. А повышение точности измерения сторон сети трилатерации должно привести к повышению точности определения ее элементов.

Точность светодальномерной трилатерации исследована на макете ГУГКа сплошной сети 2 класса. На ЭВМ коррелятным способом по составленным нами программам сделана оценка точности тех же элементов, что и в ГУГКе. Это позволило использовать для сравнения результаты, полученные в ГУГКе для сети триангуляции.

Исходными элементами мы считаем дирекционные углы. В [2] показано, что дирекционные углы крайних связующих сторон более эффективно действуют на точность элементов сети трилатерации, чем дирекционные углы крайних промежуточных сторон. Это учтено при исследованиях.

В первом варианте, как и в ГУГКе, принято, что в сети пять исходных дирекционных углов. Но кроме стороны  $s_0$  их имеют другие стороны ( $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  и  $s_4$  на рисунке). Точность измеренных сторон равна 1:400 000. Полученные результаты приведены в таблице. Сравнив их с результатами ГУГКа для сети триангуляции, видим, что точность положения пунктов в сети светодальномерной трилатерации на 10...20% выше, чем в сети триангуляции. Точность дирекционных углов в сетях одинакова, а длины сторон в сети трилатерации на 15%

точнее. Таким образом, светодальномерная трилатерация может заменить сеть триангуляции 2 класса. Процесс построения таких сетей будет содержать те же этапы, что и при создании сетей триангуляции, только вместо угловых измерений будут проводиться линейные. Норм и стоимости измерения светодальномерами сторон сплошной сетей в соответствующих сборниках нет. Поэтому нередко при расчетах стоимости трилатерационных построений пользуются нормами или стоимостями

Сравнение точности методов триангуляции и трилатерации по данным ГУГКа и нашим исследованиям

| Обозначение | По данным ГУГКа |                           | По нашим исследованиям |            |           |
|-------------|-----------------|---------------------------|------------------------|------------|-----------|
|             | триангуляция    | трилатерация<br>1:200 000 | вариант I<br>1:400 00  | вариант II |           |
|             |                 |                           |                        | 1:200 000  | 1:400 000 |
| $M_1$       | 0,09 м          | 0,16 м                    | 0,08 м                 | 0,11 м     | 0,05 м    |
| $M_2$       | 0,16            | 0,23                      | 0,12                   | 0,13       | 0,06      |
| $M_3$       | 0,20            | 0,33                      | 0,16                   | 0,15       | 0,07      |
| $M_4$       | 0,24            | 0,42                      | 0,20                   | 0,16       | 0,08      |
| $M_5$       | 0,28            | 0,51                      | 0,24                   | 0,18       | 0,09      |
| $M_6$       | 0,32            | 0,62                      | 0,28                   | 0,19       | 0,10      |
| $M_7$       | 0,35            | 0,70                      | 0,29                   | 0,24       | 0,12      |
| $M_8$       | 0,37            | 0,58                      | 0,24                   | 0,21       | 0,12      |
| $m_I$       | 0,6"            | 1,2"                      | 0,6"                   | 1,0"       | 0,5"      |
| $m_{II}$    | 0,6             | 1,2                       | 0,6                    | 1,0        | 0,5       |
| $m_{III}$   | 0,5             | 1,2                       | 0,7                    | 1,0        | 0,5       |
| $m_{IV}$    | 1,0             | 1,5                       | 0,7                    | 1,0        | 0,5       |
| $m_1$       | 3 см            | 5 см                      | 2,5 см                 | 4,9 см     | 2,5 см    |
| $m_2$       | 3               | 5                         | 2,5                    | 4,9        | 2,5       |
| $m_3$       | 3               | 5                         | 2,5                    | 4,8        | 2,4       |
| $m_4$       | 6               | 5                         | 2,5                    | 5          | 2,5       |

измерения базисных сторон. А ими пользоваться для этих целей нельзя, так как расстояния между базисами составляют до 100 км, что учтено в нормах. Кроме того, с одной установки приемопередатчика в сплошной сети можно измерять не одну, а две-три стороны, причем время измерений почти не увеличивается, поскольку измерения базиса проводятся на протяжении 20...30 мин утром и вечером, а продолжительность периодов, пригодных для измерений, в три—четыре раза больше. Расчет показал, что стоимость полевых измерений в сети трилатерации на 8...10% ниже, чем в сети триангуляции. Таким образом, возможна замена метода триангуляции методом светодальномерной трилатерации при создании или восстановлении плановых сетей 2 класса.

Наиболее дорогостоящий этап создания плановых сетей — строительство знаков. Избежать его можно, создавая сеть методом трилатерации с помощью радиодальномеров с отделяе-

мыми приемопередатчиками (такими, как «Луч»). Согласно расчетам, проведенным в ЦНИИГАиК, стоимость создания плановой сети из 100 пунктов методом трилатерации радиодальнономерами такого типа на 11 тыс. руб. дешевле, чем создание такой же сети триангуляции 2 класса. Поэтому представляет интерес нахождение путей повышения точности сетей радиодальнономерной трилатерации.

Точность трилатерационных построений можно повысить, выполняя дополнительные измерения. С этой целью во втором варианте сети мы приняли, что все связующие стороны на левом и правом краях макета сети имеют исходные дирекционные углы. Точность измеренных сторон считалась равной 1 : 200 000. Исследования проведены по той методике, что и предыдущие. Полученные результаты имеются в колонке таблицы, соответствующей второму варианту сети и точности сторон 1 : 200 000.

Сравнение результатов по второму варианту сети радиодальнономерной трилатерации с результатами ГУГКа для триангуляции показывает, что точность положения удаленных пунктов в первом случае на 10...15% выше. Однако точность дирекционных углов и длин сторон остается ниже. Следует отметить, что точность этих элементов, полученная в ГУГКе для сети триангуляции, вызывает сомнения. При точности измерения углов 0,9" достичь точности определения дирекционных углов 0,6" вряд ли возможно, учитывая, что в сети имеется лишь пять исходных дирекционных углов.

Практически такие же результаты получены при предположении, что в сети имеем лишь пять исходных дирекционных углов тех же сторон, что и в первом варианте, а дирекционные углы всех остальных крайних связующих сторон имеют ошибку 1,0".

Но выполнение астрономических наблюдений с целью определения дирекционных углов — процесс дорогостоящий. Поэтому исследован вариант сети, в котором между всеми крайними связующими сторонами измерены углы с точностью 1,0", т. е. астрономические наблюдения заменены угловыми. Кроме того, считалось, что в сети стороны  $s_0, s_1, s_2, s_3$  и  $s_4$  имеют исходные дирекционные углы. Результаты в данном случае получены такие же, как и во втором варианте сети радиодальнономерной трилатерации. Это позволяет сделать вывод, что в сети радиодальнономерной трилатерации можно достичь такой же точности положения пунктов, как и в сети триангуляции 2 класса, если иметь в ней пять исходных дирекционных углов и измерить углы между всеми крайними связующими сторонами. Поскольку длины сторон тоже измеряются, то практически получается, что сеть радиодальнономерной трилатерации нужно прокладывать между двумя ходами полигонометрии, опирающимися на исходные дирекционные углы.

Мы провели также оценку точности второго варианта сети со сторонами, измеренными с точностью 1 : 400 000, т. е. сети

светодальномерной трилатерации. Результаты приведены в последней колонке таблицы. Как видим, в такой сети точность положения пунктов почти в два раза выше, чем в сети триангуляции 2 класса.

Таким образом, результаты исследований показывают, что необходимо различать сеть трилатерации, созданную светодальномерами и радиодальномерами. Точность сети трилатерации, созданной светодальномерами, обеспечивающими точность измерений 1 : 400 000, не ниже точности сетей триангуляции 2 класса, а стоимость ее не выше стоимости создания сети триангуляции. Сети радиодальномерной трилатерации необходимо развивать между двумя ходами полигонометрии, каждый из которых опирается на два исходные дирекционные углы. Точность таких сетей не ниже точности сетей триангуляции 2 класса. При использовании для измерения сторон сетей трилатерации радиодальномеров типа «Луч» достигается большой экономический эффект. В «Инструкцию о построении государственной геодезической сети СССР» необходимо внести изменения, разрешающие применять метод трилатерации для создания и восстановления государственных сетей 2 класса. Создавая сеть светодальномерной трилатерации, проложенной между двумя полигонометрическими ходами, можно получить точность положения пунктов примерно в два раза выше, чем в сети триангуляции 2 класса.

1. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М., 1966.
2. Костецкая Я. М., Герасимов Ю. В. О точности сетей трилатерации с исходными дирекционными углами // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1981. Вып. 34. С. 45—47.
3. Проворов К. Л. Точность элементов сети линейной триангуляции // Тр. НИИГАиК. 1958. Т. 11. С. 13—21.
4. Проворов К. Л. Сравнение точности угловой линейной и линейно-угловой триангуляции // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1960. № 1. С. 57—64.
5. Судаков С. Г. Дальнейшее развитие схемы и программы построения государственной геодезической сети СССР // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1960. № 1. С. 17—28.
6. Татевян А. Ш. Исследования о построении опорной геодезической сети // Тр. ЦНИИГАиК. 1967. Вып. 181. С. 3—138.

Статья поступила в редколлегию 08.12.87