

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРЕПЯТСТВИЯ С ПОМОЩЬЮ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЭКЕРА

Матиас Фурланд (Дрезденский технический университет, Германия)

Специалист в области прикладной геодезии. Область интересов — геодезическое приборостроение и лазерная техника.

Йорг Геррманн (Argus GeoTech, Германия)

Специалист в области инженерных изысканий и кадастра. Область интересов — лазерные сканирующие системы.

▼ Мотивация

Классический зеркальный экер практически утратил значение для геодезии. Если в фотофизике применение юстируемых зеркал принадлежит к лабораторной повседневности, то в геодезии, при необходимости достичь отклонения визирного луча на 90° , преимущественно используется пентапризма [1]. На практике лишь немногие призмы, изготавливаемые серийно, обеспечивают высокую точность.

Ввиду большого количества возможных источников погрешностей [2] изготовители пентапризм для простоты зачастую указывают только один допуск — суммарное отклонение визирного луча при перпендикулярном падении на граничную поверхность. Призмы со средней точностью обладают допуском угла отклонения до $\pm 1'$, у призм с более высокой точностью допуск составляет до $\pm 30''$. При комбинации нескольких пентапризм с одним ходом лучей отдельные погрешности суммируются. Только благодаря выгодной комбинации призм с недостаточной шлифовкой и призм со шлифовкой избыточной, можно минимизировать суммарную погрешность [3]. Поэтому пентапризмы используются преимущественно для створных измерений, когда требования к точности не высоки.

Ортогональный экер, разрабо-

танный в результате сотрудничества компаний Argus GeoTech (Германия) и FPM Holding GmbH (Германия), является высокоточной реализацией классического зеркального экера, предназначенного для электрооптического измерения расстояний. Понятие «ортогональный экер» было введено в связи с тем, что термин «зеркальный экер» в настоящее время используется также для обозначения других устройств, не относящихся к геодезии. Использование ортогонального экера позволяет с помощью тахеометра выполнять линейные измерения через препятствия (рис. 1), и с высокой точностью определять координаты скрытой точки.

▼ Сравнение

На рис. 2 представлена модель ортогонального экера с использованием полужеркала. Как и пентапризма, ортогональный экер имеет свойство отклонять визирный луч ровно на 90° , однако классическое цельное зеркало с двумя направленными внутрь зеркальными поверхностями в данном случае заменено двумя зеркалами. Ортогональный экер обладает важными преимуществами по сравнению с классической пентапризмой при применении в геодезии, оптике и фотофизике:

— масса ортогонального экера составляет малую часть массы



Рис. 1

Линейные измерения через препятствия

пентапризмы и поэтому, особенно при большой апертуре, он легко монтируется в оптические системы;

— в отличие от пентапризмы ортогональный экер может юстироваться с точностью до $1''$. Такая точность при серийном производстве пентапризм может быть достигнута лишь в результате случайности и, кроме того,



Рис. 2

Ортогональный экер

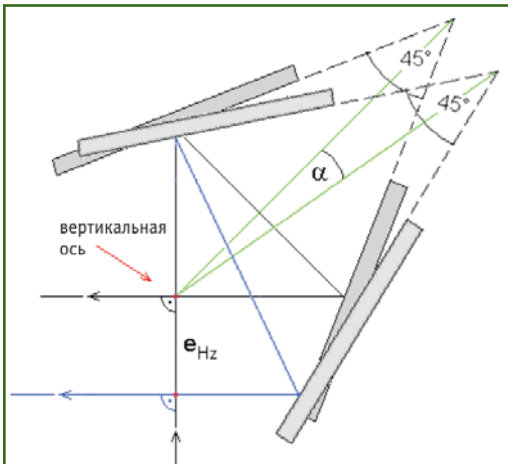


Рис. 3
Действие ошибочной установки

крайне редко, что в итоге выражается в достаточно высокой стоимости;

- ортогональный экер состоит из двух стеклянных подложек с зеркальной поверхностью. Здесь нет входной и выходной поверхностей, поэтому отражение и преломление луча света на данных граничных поверхностях отсутствуют и не являются источником погрешности;

- при применении ортогонального экера оптический путь света идентичен геометрическому. При использовании пентапризмы оптический путь света длиннее, так как скорость света в стекле ниже, чем в воздухе;

- в то время как повреждения граничных или отражающих поверхностей в большинстве случаев приводят к непригодности дальнейшего использования пентапризмы, каждая деталь ор-

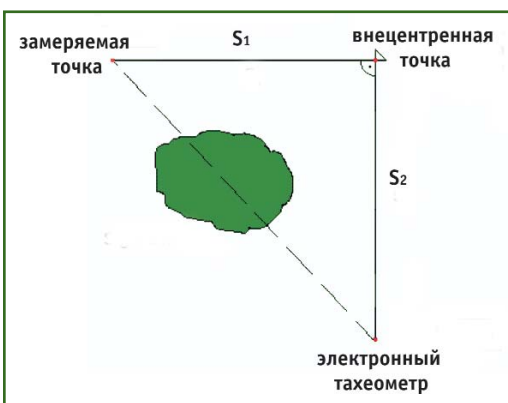


Рис. 4
Измерение скрытой точки

тогонального экера может быть заменена.

Недостатком ортогонального экера по сравнению с пентапризмой является тот факт, что при одинаковой апертуре из-за отсутствия преломления на входной и выходной поверхностях ограничен угол поворота, т. е. угол α (рис. 3), на который можно повернуть вертикально стоящий ортогональный экер в горизонтальной плоскости к визирному лучу, не уменьшая при этом функциональности. Данный недостаток компенсируется возможностью использования различных по форме и размеру зеркал и их оптимального приспособления в зависимости от потребностей того или иного измерения. В описываемом случае данный недостаток не имеет значения, так как $\alpha = 0$.

▼ Принцип использования

Внецентренная установка прибора отчасти утратила значение при выполнении съемки и измерений полярным методом, так как установка прибора на новой станции современных тахеометров сопряжена лишь с незначительным увеличением затрат. Но если необходимо измерить несколько точек с разных станций, то имеет смысл использовать пассивный эксцентр в форме ортогонального экера. В качестве примера для данного случая можно упомянуть внешний и внутренний обмер зданий с помощью тахеометра.

Принцип использования ортогонального экера в качестве эксцентра представлен на рис. 4. В качестве эксцентра может быть выбрана любая точка. Единственное условие, кроме зрительной связи с измеряемой точкой и тахеометром: точка установки тахеометра, измеряемая точка и эксцентр должны образовывать прямоугольный треугольник. В эксцентре устанавливается визирная вешка, оснащенная рядом с призмой ортогональным экером. Длина отрезка S_2 между тахеометром и эксцентром, а так-

же его направление, определяются с помощью тройной призмы. В результате линейного измерения, выполняемого через ортогональный экер, получаем отрезок S_3 равный сумме измеренного отрезка S_2 и вычисляемого отрезка S_1 . Отрезок S_3 соответствует переменной величине зеркала SV , которая может вычисляться в зависимости от вертикального угла [4]. Используя значения длин отрезков S_1 и S_2 , редуцированные на горизонтальную плоскость, можно легко вычислить расстояние между тахеометром и измеряемой точкой.

Данная комбинация обладает существенным преимуществом при выполнении безотражательных линейных измерений, так как позволяет избежать «скользящего» падения визирного луча на поверхность объекта. Минимальное значение диффузионного отражения, необходимое для измерения расстояния при «скользящем» падении луча, особенно на отражающую или темную поверхность объекта, зачастую не достигается, хотя дистанция не превышает максимальной дальности действия тахеометра. Благодаря использованию ортогонального экера, угол падения визирного луча на поверхность объекта может быть увеличен до 90° , что в большинстве случаев существенно повышает степень диффузного отражения. Таким образом, использование эксцентра оправдано, хотя в классическом понимании в нем нет необходимости.

Существенное отличие по сравнению с обычными измерениями заключается в том, что исполнитель, устанавливающий ортогональный экер, осуществляет визирование. Измерения при пассивном эксцентре проходят особенно хорошо, когда тахеометр обладает лазерным визирным лучом, обозначающим необходимую точку. Таким способом легко могут визироваться также точки, расположенные на высоте. Опыт использования ортогонального экера при съеме мест-

ности показал его эффективность.

▼ Критерии точности

Ортогональный экер наилучшим образом подходит для использования при величине отклонения визирного луча тахеометра в 90° . Однако необходимо убедиться, что поверхности зеркал расположены параллельно вертикальной оси и образуют угол ровно в 45° . Отклонения от данных условий описываются погрешностями вертикальной и горизонтальной юстировок (δv и δ_{hz}), которые при приобретении на заводе-изготовителе не должны превышать $1''$, хотя нельзя исключить возможности, что прибор разъюстируется в результате случайного удара или больших колебаний температуры. Поэтому при каждодневной работе с прибором рекомендуется регулярно проводить его поверку и, при необходимости, юстировку. С этой целью были разработаны специальные процедуры, выполняемые в полевых условиях [5].

Кроме того, необходимо обеспечить правильную установку ортогонального экера относительно тахеометра для того, чтобы избежать ошибок в определении координат из-за эксцентриситета точки пересечения лучей. На рис. 3 показана взаимосвязь между ошибкой в установке и горизонтальным эксцентриситетом. Если вертикальная ось находится в пределах видимости, то и точка пересечения лучей при правильной установке ортогонального экера будет расположена на вертикальной оси (черный луч). В случае горизонтального поворота на угол α (синий луч) точка пересечения лучей сдвигается на величину эксцентриситета e_{hz} . При $\delta \neq 0$ исходящие лучи также параллельны друг другу, однако не перпендикулярны падающему лучу, а имеют отклонение $2\delta_{hz}$.

Высокие результаты достигаются при точном визировании вертикальной оси ортогонального экера, которое осуществляется с помощью тахеометра. Для

установки ортогонального экера относительно визирной оси тахеометра служит крест нитей на каждой поверхности зеркал. Если оператору видны оба креста нитей, расположенные друг над другом, то ортогональный экер установлен правильно. Дополнительно ортогональный экер может быть оснащен двумя диоптрами, крестообразным экером или небольшой пентапризмой с целью обеспечения хорошего визирования тахеометра.

Ошибки в приведении ортогонального экера в горизонтальное положение оказывают влияние, в первую очередь, на образуемый визирным лучом вертикальный угол между ортогональным экером и измеряемой точкой. Так как уменьшение диагонали происходит одновременно с сокращением измеряемого тахеометром вертикального угла, неточности в приведении ортогонального экера в горизонтальное положение влияют не только на координаты высоты, но и, в основном, на горизонтальный отрезок между ортогональным экером и измеряемой точкой. При плоском визировании влиянием на координаты можно пренебречь. Если высоту необходимо определить с точностью до миллиметра, то использовать круглый уровень для приведения ортогонального экера в горизонтальное положение недостаточно. В данном случае рекомендуется использовать ортогональный экер, подвешенный как маятник. Комбинация с использованием тройной призмы может не применяться, если вместо нее

на ортогональном экере установить отражатель (рис. 5). Другими вариантами (наряду с выбором размера прибора) являются ортогональные экеры с окошком обозрения, с корпусом или с подвеской в корпусе [6]. Размер, форма, материал и покрытие отражающих поверхностей также могут варьироваться. Так, например, по желанию заказчика между отражающими поверхностями может быть установлен произвольный угол с сохранением той



Рис. 5
Ортогональный экер
с корпусом и диоптрами

же высокой точности. Разумеется, в этом случае прибор уже нельзя будет рассматривать как настоящий ортогональный экер.

▼ Список литературы

1. Deumlich/Staiger: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, 9. vollig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag Heidelberg, 2002, S. 240.
2. Brandstatter, G.: Die Richtungsgenauigkeit von Pentaprismen, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie 62 (1974), S. 16–24.
3. Fuhrland, M.: Das passive Exzentrum-Streckenmessung um die Ecke, AVN Heft 1 / 2005.
4. Zschocke, K.: Untersuchungen zum Einsatz eines Tachymeteraufsatzes, Diplomarbeit TU Dresden, 2004.
5. Fuhrland, M., Neumann, G., Schmidt, J.: Kalibrierung eines Orthogonalspiegels, AVN Heft 4 / 2005.
6. <http://www.argus-geotech.de>.

RESUME

The direct measurement of a hidden point using a Tachymeter can be done with an Orthogonal-Mirror. The entry of an Orthogonal-Mirror can increase the range of a reflectorless EDM. The Orthogonal-Mirror, developed by Argus GeoTech and FPM Holding, was tested at the Dresden University of Technology. The article involves the innovation, the measurement principle, the geodetic use and the accuracy criteria.