

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТАХЕОМЕТРОВ ПРИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

*Хадарович А.В.
(ПРПП «Геосервис», Минск)*

Рассматриваются тахеометры - многофункциональные, компактные, как правило, электронные приборы, позволяющие проводить любые геодезические работы. Тахеометр позволяет измерить горизонтальные и вертикальные углы, расстояния, площади на удалении до 5 км и с точностью до 1 см, вести автоматическую запись по нескольким тысячам точек, обмениваться данными с компьютером.

Современные электронные **тахеометры** значительно различаются не только своими техническими характеристиками, но и ориентацией на конкретного пользователя или определенную сферу применения.

Определяющим становится фактор эффективности применения прибора для решения конкретного типа задач. Например, для выполнения традиционных работ по землеотводам достаточно иметь простой механический тахеометр (технологический) с минимальным набором встроенных программ. В то же время для работ по изысканиям и строительству наиболее эффективным будет применение роботизированного электронного тахеометра, имеющего функцию автоматического слежения за отражателем, контроллер и программы, позволяющие не только работать с проектными данными, но и воспроизводить полученные результаты непосредственно в поле на экране контроллера.

Различают технологичные электронные тахеометры, содержащие минимальный пакет программного обеспечения, и высокотехнологичные.

Внутри класса высокотехнологичных электронных тахеометров также выделим *«простые» тахеометры с сервомоторами, «полуроботы»* - тахеометры со следящей системой, *«роботы»* - тахеометры, оснащенные дистанционным управлением.

К **«простым» тахеометрам** с сервомоторами относятся следующие модели: Leica TCM1200, TCRM1200, TCM1 100 TCRM1 100, Geodimeter 600S (на данный момент компания Geodimeter как самостоятельная не существует, она входит в состав компании Trimble Navigation (США)), Trimble 5600S. Литера «М» у тахеометров Leica означает моторизованный, литера «S» у тахеометров Geodimeter и Trimble - сервомоторы. Для работы с этими при-

борами необходима бригада из двух человек. Закрепительные винты у приборов отсутствуют, а вместо наводящих винтов используются маховики управления сервомоторами. Система работает по принципу «автоматической коробки передач», т.е. чем быстрее оператор вращает маховик, тем быстрее прибор поворачивается, и наоборот. Для большей плавности современные системы оснащены четырехскоростной «коробкой». Преимущество использования таких приборов имеет место при выполнении работ, связанных с мониторингом, когда необходимо периодически выполнять наблюдения на одни и те же цели. В этом случае прибор по определенной программе наводится на цели автоматически, оператору остается осуществить лишь точное наведение. Также удобно использовать эти приборы на строительной площадке для выноса проекта на местность. Зная $\frac{1}{8}$ координаты проектных точек, прибор автоматически разворачивается в проектное положение. Это удобно и быстро - одна секунда, и прибор готов к работе. При этом прибор учитывает поправки и удерживает направление в проектном положении.

«Полуроботы» - тахеометры со следящей системой. Название довольно условное, так как у разных производителей принцип слежения за отражателем реализован по-разному. К «полуроботам» можно отнести следующие модели: Leica TC700auto, TCR700auto, TCA1 200, TCRA1200, TCA1100, TCRA1 100, Geodimeter 600Autolock, Trimble 5600Autolock. Лишнее «А» у тахеометров Leica означает ATR (Automatic Target Recognition - система автоматического распознавания цели и наведения на нее), «Autolock» у тахеометров Geodimeter и Trimble - наличие следящей системы. Для работы с приборами требуется бригада из двух человек.

Развитие этой системы у фирмы Trimble и фирмы, выпускавшей Geodimeter, пошло по пути использования «активного отражателя». В тахеометрах Geodimeter и Trimble 5600 он состоит из следящей системы, смонтированной под зрительной трубой и принимающей излучение от активного излучателя, закрепленного с отражателем (призмой) на вехе. Вместе это называется «активным отражателем». В зависимости от типа он может работать на разные расстояния: от нескольких метров до 750 м, и быть «круговым» или «плоским» (односторонним). Следящая система тахеометра принимает излучение от вехи и «удерживает» прибор в состоянии наведения на нее. При перемещении вехи сервомоторы разворачивают прибор в направлении за излучателем на вехе. К достоинствам этой системы можно отнести то, что прибор удерживает только одну цель и не перемещается за более ярким объектом. Но также существует ряд и недостатков: наличие

на вехе источника излучения требует отдельного питания. Это могут быть пальчиковые батареи или аккумуляторы, как в случае с «плоским» активным отражателем, или внешние источники питания, как в случае с «круговым» отражателем. Наличие тяжелого аккумулятора на вехе и кабеля делает проблематичной использование этой системы в зарослях и даже в городских условиях. Попытка спрятать аккумуляторы в веху решает эту проблему только частично, большой вес вехи, частая замена батареи является непреодолимым препятствием.

В отличие от тахеометров Trimble/Geodimeter, тахеометры Leica используют совершенно другой принцип: во-первых, система работает на «пассивный» отражатель, т.е. на обычную призму; во-вторых, понятия «автонаведение» (ATR) и «удержание и сопровождение цели» (Lock) разнесены. Например, в тахеометрах TC700auto и TCR700auto после нажатия клавиши DIST «измерения расстояния» прибор точно наводится на отражатель и выполняет измерения, но следить за перемещением отражателя он не может, так как нет функции удержания и сопровождения цели. Часто это то, что нужно, так как функцию ATR оператор использует только в условиях плохой видимости (например, в сумерках, в зарослях или в снегопад или дождь). В тахеометрах TC1100, TCR1 100, TC1200 и TCR1200, эти две функции совмещены. Отсутствие необходимости иметь аккумуляторы на вехе делают эту систему крайне привлекательными для использования. Круговая призма, позволяющая выполнять измерения в режиме слежения до 800 м, как нельзя лучше подходит для съемки. Проблема «увлечения» за более ярким или блестящим объектом, от которой шведские инженеры пытались избавиться с помощью активного отражателя, в тахеометрах Leica решена оригинальным образом. Система ATR, так же как и следящая система, в Geodimeter испускает свой собственный сигнал, но проходит он через зрительную трубу, как и сигнал дальномера. Отраженный сигнал разделяется, и сигнал ATR передается на приемник. В памяти системы хранятся «образы» всех стандартных отражателей, поставляемых фирмой. Система сравнивает полученный «образ» с тем, что хранится в памяти и делает вывод о необходимости «удержания» объекта (отражателя). Теоретически можно предположить, что случайный отраженный и снимает проблему увлечения за «чужим» отражателем другого типа, так как перед началом работы оператор указывает тип используемого отражателя.

Даже при потере отражателя имеется возможность настроить на поиск внутри заранее заданного «окна» (сектора). «Окно» перемещается за отражателем. У тахеометра Geodimeter центр окна относится к последнему

зарегистрированному пикету, а у тахеометров Leica 1200 - к точке потери отражателя. Обе системы допускают кратковременную потерю отражателя с продолжением движения по предвычисленной траектории (например, когда помощник заходит за дерево или колонну). Второй вариант, когда прибор просто информирует о потере отражателя. В этом случае достаточно повернуть прибор в сторону отражателя, получив сигнал прибор «захватывает» и удерживает отражатель.

Необходимо обратить внимание на две особенности при съемке с использованием следящей системы. Обычно при использовании тахеометров без следящей системы оператор сначала наводится на отражатель, выполняет измерения и дает отмашку помощнику переходить к следующему пикету; и только потом меняет код, высоту визирования и регистрирует результаты измерений. При включенной следящей системе это приведет к тому, что прибор «ринется» за отражателем. Особенно это опасно, когда не надо изменять код или высоту визирования, а надо просто зарегистрировать точку. В этом случае надо изменить порядок работы - сначала регистрировать и только потом давать команду. Вторая особенность - это невозможность «оторвать» прибор от отражателя. В случае когда перед регистрацией нужно выполнить точное наведение (например, на угол здания или середину ствола дерева), прибор будет «держаться» отражатель, как приклеенный. В этом случае на помощь приходит функция «OFFSET» - смещение. Смещение может быть продольное (вдоль луча) и поперечное (перпендикулярно лучу). После ввода нужного значения смещения с соответствующим знаком прибор перевычисляет значение горизонтального направления (если смещение поперечное) или расстояние (если смещение продольное).

«Роботы» - тахеометры со следящей системой, дистанционным управлением и радиосвязью. К «роботам» можно отнести: TCPI 200, TCRP120, TCAI 100 TCRAI 100, Geodimeter 600Robotic, Trimble 5600Robotic. Литера «P» у тахеометров Leica означает PowerSearch - система быстрого поиска отражателя, Robotic у тахеометров Geodimeter и Trimble означает наличие следящей системы и встроенного радио модема.

Лидеры пошли разными путями. У тахеометров Trimble 5600 Geodimeter клавиатура, а правильнее сказать, пульт управления - съемный. Поэтому в режиме «робота» пульт отсоединяется от тахеометра, закрепляется на вехе и подключается к радиомодему и аккумулятор. У тахеометров Leica клавиатура несъемная, поэтому для работы в режиме «робот» требуется специальное устройство - контроллер (портативный ко*

пьютер, позволяющий выполнять такие операции, как управление тахеометром, запись, хранение и передача данных, уравнивание и т.д.).

Недостатком при выполнении топографической съемки в городских условиях является часто теряемый отражатель, что приводит к потере времени на его поиск. Однако в строительстве, особенно при разбивке поперечников, возведении автодорог, «робот» обладает преимуществом по отношению ко всем другим тахеометрам.

Недостатком сервомоторов является их энергоёмкое потребление. Тахеометр Geodimeter потребляет 12 В и его нельзя назвать «экономным». Прибор однозначно ориентирован на использование внешнего аккумулятора. Стандартного блока из трех аккумуляторов суммарной емкостью 10 А/ч хватает примерно на два дня непрерывной работы зимой. В тахеометрах Leica серии 1200 используются внутренние, емкостью 4,2 А/ч аккумуляторы.

Высокотехнологичные электронные тахеометры выпускают серийно такие известные компании, как: Leica Geosystems (Швейцария), Trimble Navigation (США), Topcon Positioning Systems, Sokkia и Nikon (Япония).

Для измерения углов, к примеру, в полигонометрии применяются приборы, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения горизонтального угла в 4 классе - 2", в 1 разряде - 5", во 2 разряде - 10", для этого удобно знать класс точности измерения угла прибора.

По точности, характеризующейся средней квадратической ошибкой измерения горизонтального угла одним приемом в лабораторных условиях, тахеометры можно разделить на высокоточные, точные и технические.

Высокоточные - для измерения углов со средней квадратической ошибкой менее 1,5". Применяются в государственных геодезических сетях, в прикладной геодезии и т.д.

Точные - для измерения углов со средней квадратической ошибкой от 2 до 10". Применяются в геодезических сетях сгущения и съемочных сетях, в исполнительных съемках, в инженерно-геодезических изысканиях, в прикладной геодезии и т.д.

Технические - для измерения углов со средней квадратической ошибкой более 10". Применяются в геодезических сетях сгущения и съемочных сетях, в исполнительных съемках, в инженерно-геодезических изысканиях и т.д.

По методу определения времени распространения электромагнитных волн различают два способа получения расстояния: импульсный и фазовый.

В *импульсном методе* для вычисления расстояний определяется точное время прохождения импульса до цели и обратно. Импульсный лазер

генерирует множество коротких импульсов в инфракрасной области спектра, которые направляются через зрительную трубу к цели. Эти импульсы отражаются от цели и возвращаются к инструменту, где при помощи электроники определяется точное время прохождения каждого импульса.

В *фазовом методе* расстояние определяется через разность фаз между переданным и отраженным принятым сигналом. Метод измерения разности фаз работает по принципу наложения на несущую частоту модулированного сигнала. Прибор измеряет постоянное смещение фазы, несмотря на неизбежные изменения в излучаемом и принимаемом сигнале. В результате сравнения фаз опорного и получаемого сигнала определяется только величина сдвига фазы, а целое число циклов остается неизвестным и не позволяет сразу получить расстояние. Эта неоднозначность разрешается путем многократных измерений модуляции волны, в результате чего определяется уникальное целое число циклов, что позволяет вычислить точное расстояние.

Однако импульсный метод по точности ниже, чем фазовый, это связано с тем, что трудно зафиксировать момент излучения и приема импульсов. Поэтому импульсный метод дает невысокую точность определения расстояния.

Встроенное программное обеспечение электронных тахеометров |

С появлением первых компьютеров практически сразу их возможности стали использовать в геодезии. Для этого имелись все предпосылки — огромное количество легко формализуемых вычислений.

Можно разбить условно историю компьютерной техники на 2 этапа: до появления IBM PC и после.

Колоссальное количество персональных компьютеров различных платформ в 80-х годах прошлого века: Spectrum — совместимые, Macintosh, Commodore, Atari, советские Агат и другие, в большинстве своем с несовместимыми форматами хранения данных, малым быстродействием и не большим объемом оперативной памяти. Тем не менее перечисленным компьютеры позволили автоматизировать большое количество геодезических вычислений и подготовили большое количество программистов для победного шествия PC - совместимых компьютеров. Основным преимуществом совместимых компьютеров является отсутствие привязки к определенному программному обеспечению.

Впервые электронный тахеометр был разработан в начале 70-х годов фирмой «Geotronics» (Швеция). Первоначально прибор имел только устройство измерения горизонтальных и вертикальных углов и расстояний

без записи и обработки результатов измерений. В 1986 году выпущен первый в мире «умный» тахеометр Geodimeter System 400, обладавший значительными вычислительными возможностями и представлявший собой абсолютно новое поколение геодезических приборов, характеризуемых термином «геодезический компьютер».

В настоящее время при выполнении геодезических работ, связанных с созданием плано-высотного обоснования и съемкой местности, а также при специальных геодезических работах используются электронные тахеометры. Это огромный шаг вперед от первых теодолитов к таким высокотехнологичным измерительным инструментам, позволяющим автоматизировать процесс первоначального получения координат точек и с легкостью использовать результаты тахеометрических съемок в цифровой картографии, обеспечивая при этом высокую производительность труда, высокое качество и достоверность конечных результатов работ. Примером таких современных тахеометров может быть Trimble S6.

Указанное достигается тем, что конструктивные схемы электронных тахеометров помимо технических устройств автоматизации, собственно измерений (длин линий, горизонтальных и вертикальных направлений), включают в себя средства обработки, хранения и представления результатов. Кроме этого, программное обеспечение, «зашифрованное» в электронной памяти тахеометров, позволяет решать непосредственно в полевых условиях ряд аналитических задач. Минимально необходимое программное обеспечение не может решить возникшие в поле задачи, такие как определение непреступного расстояния, обратную задачу и т.д. Как правило, в минимум входят: «поверки и юстировки» - позволяют определить и учесть ошибки прибора; «управление проектом» - помогает создать новый проект или дополнить уже существующий (редактировать), а также переименовать, скопировать и если нужно удалить его из прибора; «измерения» - позволяют выбрать единицы измерения, ввести высоту прибора, визирования, константы призмы, температуру и давление, а также масштаб локальной системы (здесь особое внимание нужно уделять масштабному коэффициенту, так как он в свою очередь может привести к нежелательным результатам), тип отражателя и самое главное помогает производить измерения; «редактор данных» - помогает в вести информацию о точке, а также может редактировать проект с помощью специальных фильтров, тем самым готовя проект к передаче на персональный компьютер; «передача данных» - помогает настроить соединение прибора с компьютером; «конфигурация» - помогает настроить прибор на все условия и требования измерений, а также обновить программное обеспечение прибора, тем самым совершенствуя его.

Метод безотражательных измерений

Появление безотражательных электронно-оптических дальномеров в электронных тахеометрах произвело революцию в топографо-геодезической съемке. Безотражательный дальномер позволяет геодезистам точно определить расстояние до удаленного объекта без необходимости установки призмы непосредственно в измеряемой точке.

Применение:

- 1) измерения высоких объектов;
- 2) трехмерный вынос в натуру;
- 3) измерения на мостах, на дорогах, внутри здания;
- 4) маркировка частей здания для трехмерного выноса в натуру;
- 5) загрязнённые и зараженные области;
- 6) неустойчивые поверхности;
- 7) съемка противоположного берега реки;
- 8) измерения контрольных точек для фотограмметрии;
- 9) измерения фасадов;
- 10) измерения при восстановлении памятников архитектуры и музейных ценностей и т.д.

Точное измерение до угла

Все безотражательные дальномеры импульсного или фазового тит неизбежно будут иметь ошибки при измерениях до внутренних или внеш* них углов в результате расходимости пучка при его распространении от источника. Когда лазерный луч направлен точно на угол, часть его излучения переотражается от стен прежде, чем от центральной точки угла. Это эффект при измерении до угла, фронт излучения фазового дальномер! ближе подходит к углу, чем фронт импульсного дальномера (инструмента расположены на одинаковом расстоянии). Тем не менее оба этих метод! будут иметь ошибки измерений. В результате такого эффекта наиболее точным способом будет косвенное измерение, объединяющее измерени! углов и расстояний.

Измерения до центра круглых объектов

В этом примере рассматривается задача определения координат центра круглого фонарного столба. Ясно, что выполнить такое измерение напрямую невозможно, однако его можно осуществить, используя безотражательный дальномер и вспомогательное программное обеспечение, без необходимости устанавливать отражатель на верху столба.

Задание диапазона измерений

Иногда пользователю необходимо произвести измерение до удаленного объекта, за которым вдоль линии визирования находится другой отра-

жающий объект. В этом случае можно выполнить ошибочное измерение до другого объекта. Проблему можно решить следующим образом: определить расстояние до объекта, находящегося приблизительно на таком же удалении, что и требуемый, или определить расстояние до дальнего объекта, используя одно из этих значений для установки диапазона измерений (например, чтобы измерять расстояния до объектов только свыше 100 м или находящихся на расстоянии от 120 до 130 м).

Задание допусков для измерений

Также в программном обеспечении инструмента может быть задана требуемая среднеквадратическая ошибка измерения расстояний, например, 0,010 м или 0,001 м. Тахеометр будет проводить измерения до тех пор, пока заданная точность не будет достигнута. Если требуемая точность не будет достигнута за установленное максимальное число измерений, то программа укажет полученную ошибку и предложит оператору принять или отклонить данное измерение.

Применение собственных отражателей

Призменный отражатель является точным оптическим прибором и может быть произведен только с использованием специального оборудования. Поэтому для пользователя отсутствует, какая-либо возможность для разработки собственных отражателей. С появлением безотражательного дальномера эти ограничения исчезают. Мишень, сделанная пользователем, может быть, например, сделана в виде отражающей полоски материи, намотанной на вежу, с легкостью обеспечивая измерение расстояний до 100 м. В этом случае радиус вежи может задаваться как постоянная отражателя.

Сканирование поверхности

Такие поверхности, как горные забои, крутые откосы или отвалы породы, могут быть автоматически измерены с использованием режима сканирования поверхности. Пользователь задает окно и шаг сканирования, после чего прибор сам автоматически производит съёмку заданного участка. Для создания цифровой модели поверхности и ее визуализации может быть использовано офисное программное обеспечение Trimble, например «Terramodel®».

Применение технологии кодирования

Информация, собранная электронным геодезическим прибором, впоследствии обрабатывается на компьютере какой-либо геодезической программой. Пользователь передаёт на компьютер информацию о снятой точке, например, её координаты. Программа рисует эту точку по переданным координатам. Затем пользователь, руководствуясь данными рукописного полево-

го абриса, устанавливает для данной точки соответствующий условный знак, например, «телеграфный столб».

Представим, что таких столбов 100. Получается, такую операцию нужно проделать 100 раз. Однако можно поступить иначе: руководствуясь данными абриса, найти в файле программы обработки все эти сто точек, выделить их, если данная программа позволяет это сделать, и одновременно присвоить им один и тот же условный знак. При этом есть несколько нюансов: первый - программа может не позволить процедуру выделения нескольких точек одновременно; второй - довольно утомительно искать на абрисе номера точек тех самых 100 столбов; третий - объект может содержать дополнительные характеристики - атрибуты этого объекта (например, если это дерево, то должна быть обозначена его порода и диаметр).

Электронные приборы позволяют упростить решение этих проблем. Для этого используется полевое кодирование, своего рода «оцифровка» информации в поле.

Полевое кодирование

Это прежде всего способ сообщить программе обработки собранных данных, к какому типу объектов относится снятая точка, и в соответствии с этим выполнить какую-либо операцию. Например, присвоить этой точке определённый условный знак. Перед тем как выполнить измерения на нужную точку, в соответствующей строке меню прибора вводится буквенный или цифровой код данной точки.

Аналогично можно ввести атрибуты дерева, указав его породу и диаметр. В дальнейшем, после переноса файла съёмки из тахеометра на компьютер, программа обработки автоматически обработает этот файл. В такой программе есть собственная база данных - таблица. В простейшем случае такая таблица состоит из двух столбцов. Первый столбец - это код, второй столбец - условный знак, соответствующий этому коду. Такая же таблица «закачивается» на тахеометр, только при этом второй столбец с условными знаками для тахеометра не нужен. Код точки из файла съёмки программа сопоставит с кодом своей базы данных и поставит для автоматически нанесённой точки нужный условный знак.

Руководствуясь же дополнительной атрибутивной информацией о закодированной точке, программа в соответствии с масштабом нанесёт характерный именно для данной точки условный знак.

Естественно, процедура кодирования точек увеличивает время съёмки, однако эта же процедура экономит время последующей камеральной обработки результатов. Кроме того, на современных тахеометрах не нужно вводить один и тот же код для точек с одинаковыми характеристиками.

В целом процедура кодирования снимаемых точек является шагом вперёд при производстве топографо-геодезических работ, хотя полностью отказываться от ведения абриса ещё рано. Кодирование хорошо зарекомендовало себя при проведении съёмки объектов, когда бригада не очень сильно ограничена сроками проведения полевых работ. Это один из первых шагов по пути создания полностью автоматизированных систем сбора топографо-геодезической информации. За такими системами будущее геодезии, но в этой системе еще многое нужно дорабатывать, совершенствовать, так как не всегда удобно искать в приборе тот или иной для конкретной точки номер кода.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ХОДОВ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

*Русак В.М.; Чадович Д.В.
(СП «Кредо-Диалог», Минск)*

Показано, что при выполнении работ по крупномасштабным топографическим съёмкам с применением электронных тахеометров большая часть организаций создает планово-высотное обоснование одновременно с выполнением съёмочных работ, за счет чего в значительной степени сокращается время работы на объекте.

Большинство тахеометров, эксплуатирующихся в изыскательских организациях для выполнения крупномасштабных топографических съёмок, имеют паспортную точность угловых измерений в пределах 2" - 5" (СКО одного приёма) и точность измерения расстояний 2 - 5 мм. Естественно, такой точности с огромным запасом хватает для создания планового обоснования, необходимого для выполнения топографических съёмок. Для создания же высотного обоснования с сечением рельефа 0,5 м и менее вся нормативная литература требует прокладывать ходы геометрического технического нивелирования. Исключение (по нашим сведениям) сделано только для предприятий, входящих в структуру Роскартографии, которым разрешено создавать съёмочное обоснование техническими электронными тахеометрами класса ТС600 и выше (Письмо № Е-02-3469 от 27.11.2001, в котором изложены методика и требования к производству работ). При соз-