ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ SINOGNSS С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СЕНСОРАМИ

В.П. Галахов («ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»)

В 2007 г. окончил факультет аэрокосмических съемок и фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания университета работает в ООО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ», в настоящее время — ведущий инженер-консультант сектора программного обеспечения. Кандидат технических наук.

В настоящее время можно уверенно сказать, что ГНСС-приемники стали одним из основных рабочих инструментов для определения пространственных координат объектов земной поверхности. За первое десятилетие и начало второго десятилетия XXI века базовая технология спутниковой навигации достигла довольно высокого уровня. Анализ ГНСС-приемников, предлагаемых на геодезическом рынке рядом производителей на протяжении последних десяти лет, показывает, что базовая технология, безусловно, продолжает совершенствоваться, но значительная часть этих изменений не приносит такого прироста в точности или производительности оборудования, как это было ранее. Вместе с тем, в секторе так называемых «роверных» приемников прекрасно прослеживается смещение вектора развития в сторону интеграции данных спутниковых измерений с данными, полученными с помощью дополнительных сенсоров, размещаемых в корпусе прибора для расширения его функциональных возможностей за счет их комбинированного использования в одном устройстве.

Одним из первых дополнительных сенсоров стал модуль инерциальной навигационной системы (ИНС). Современные модули ИНС на базе МЭМС-датчиков достаточно компактные, что позволяет встраивать их в корпус ГНСС-приемника, сохраняя при этом достаточно компактные размеры и относительно небольшой вес прибора, а их низкое энергопотребление незначительно сказывается на времени его автономной работы. Откалиброванный и жестко закрепленный модуль ИНС в корпусе приемника позволяет «перенести» координаты с фазового центра антенны на внешнюю точку, в общем случае — на нижний конец геодезической вехи, на которой закреплен прибор. Таким образом, мы получаем приемник, который позволяет выполнять спутниковые измерения без приведения вехи в вертикальное положение, что экономит время и в некоторых случаях даже позволяет выполнять прямое измерение пространственных координат точек, недоступных для установки вехи вертикально. Комбинация спутникового приемника с ИНС оказалась настолько удачной, что в настоящее время у большинства производителей ГНСС-оборудования видна устойчивая тенденция по снижению объемов производства традиционных приборов и увеличению объемов производства приборов со встроенным модулем ИНС.

После успешного сочетания ГНСС-приемника с ИНС эксперименты были продолжены, и в приборах с ИНС появились цифровые фотокамеры. ГНСС-приемник позволяет определить координаты центра фотографирования, а модуль ИНС фиксирует ориентацию камеры в пространстве. В процессе фотограмметрической обработки изображений, полученных такой камерой, можно определить координаты объектов, попавших в ее поле зрения. Несмотря на объективные преимущества такого сочетания сенсоров, приемники со встроенной камерой пока еще не получили массового распространения, так как фотограмметрическая обработка материалов требует наличия специализированного программного обеспечения и квалифицированного исполнителя для получения устойчиво надежного результата, а также времени на этапе постобработки.

Следующим сенсором, который был совмещен с ГНСС-приемником, оснащенным ИНС, стал лазерный дальномер. Разработчики из компании ComNav Technology, поставив перед собой задачу сделать максимально легкий и компактный прибор, пришли к выводу, что для этого необходимо избавиться от геодезической вехи, а вместо нее в нижней части корпуса разместить лазерный дальномер, направленный вниз соосно вехе. Алгоритм переноса коор-

Рис. 1
Пример использования ГНСС-приемника SinoGNSS VENUS

динат с фазового центра антенны в таком случае максимально подобен алгоритму переноса координат на конец вехи: информация о высотном положении приемника автоматически считывается из показаний дальномера, а не вводится пользователем. В 2022 г. компания ComNav Technology под брендом SinoGNSS представила компактный и легкий геодезический ГНСС-приемник VENUS [1], в котором была реализована технология использования лазерного дальномера, встроенного в основание прибора, для измерений без вехи и без прямого контакта с поверхностью объекта. SinoGNSS VENUS стал первым в мире прибором, в котором реализовано совместное применение ГНСС-приемника, ИНС и лазерного дальномера.

Опытная эксплуатация нового прибора показала, что получился действительно компактный «роверный» приемник, который позволяет работать без вехи (рис. 1).

Рис. 2
Общий вид ГНСС-приемника SinoGNSS MARS

С помощью ГНСС-приемников помимо съемки также решают задачу выноса проекта в натуру. Очевидно, что для выноса в натуру удобно использовать прибор с дальномером, направленным вниз, чтобы выносимая точка фиксировалась лазером на поверхности земли под ним. Кроме того, съемку ряда объектов удобнее выполнять с помощью дальномера, направленного вниз (съемка профиля траншеи, дна колодца, нижней бровки откоса, мостовых опор или иных труднодоступных точек объектов). Именно для решения подобных задач лучше всего подходит приемник SinoGNSS VENUS. Таким образом, к основным сферам применения этого прибора можно отнести топографическую съемку, вынос проекта в натуру, маркшейдерские работы на месторождениях и открытых складах полезных ископаемых, различные виды специализированных работ, например, исполнительные съемки прокладываемых трубопроводов или кабелей в плане и по высоте.

Вместе с тем, в результате опытной эксплуатации приемника SinoGNSS VENUS стало очевидно, что в ряде случаев необходимо значительно наклонять прибор, ухудшая при этом условия приема спутникового сигнала. Кроме того, при увеличении дистанции до съемочной точки стало ощущаться, что прибор, удерживаемый в руке, недостаточно стабилизируется, и это не позволяет навести луч лазера точно на цель, находящуюся на расстоянии более 7 м.

После анализа опыта эксплуатации SinoGNSS VENUS в 2023 г. разработчики продемонстрировали новый вариант ГНСС-приемника с лазерным дальномером под названием SinoGNSS MARS [2]. Прибор имеет дальномер, закрепленный в боковой поверхности корпуса, при этом направление лазерного луча находится в плоскости, параллельной нижней части корпуса (рис. 2). Он рассчитан на работу с геодезической вехой, что позволяет его стабилизировать и улучшить точность наведения. Для SinoGNSS MARS не стали разрабатывать принципиально новую платформу, а воспользовались проверенной платформой на базе массовой серии приемников SinoGNSS T, что позволило сделать максимально универсальный по своему функционалу прибор, достаточно доступный по стоимости для потребителей.

Опытная эксплуатация SinoGNSS MARS показала его преимущества перед приемниками без встроенного лазерного дальномера и моделью VENUS. В городах с плотной застройкой из-за закрытого высокими зданиями и сооружениями небосвода, а также из-за эффекта переотражения спутникового сигнала от поверхности окружающих объектов, происходит снижение точности и надежности решения, особенно при выполнении измерений в непосредственной близости к зданиям или сооружениям. Используя приемник с ИНС и дальномером, можно отойти от здания в место, где прием сигналов достаточно устойчив, и определить координаты необходимой точки, направив на нее луч лазера дальномера. При этом нет необходимости значительно наклонять прибор (рис. 3).

Необходимо отметить, что в SinoGNSS MARS на данный момент максимальное рабочее расстояние от прибора до объекта ограничено и составляет 15 м. Именно на такой дистанции совокупная погрешность спутникового приемника, модуля ИНС и лазерного дальномера

Рис. 3
Примеры использования ГНСС-приемника SinoGNSS MARS

остается в пределах требований, предъявляемых к качеству топографической съемки при проведении изысканий.

Блогер Александр Устинов, работающий в геодезическом направлении, провел опытную эксплуатацию приемника SinoGNSS MARS и поделился своими наблюдениями в серии видеороликов, опубликованных в сети Интернет [3].

Первое испытание, которое зафиксировано на видеоролике [4], включало серию повторных наблюдений на одной и той же точке без применения ИНС и лазерного дальномера (рис. 4). Между сериями наблюдений происходил сброс решения, и выполнялась повторная инициализация приемника. Данное испытание проводилось для оценки соответствия точностных характеристик прибора заявленным производителем значениям. При расстоянии 25 355 м до базовой станции во всех сериях наблюдений максимальное расхождение составило: 18 мм по оси X, 11 мм по оси Y и 24 мм по высоте. Эти величины соответствуют заявленным метрологическим параметрам прибора. Можно сделать вывод, что прибор исправен, модуль спутникового позиционирования не требует юстировки.

Следующим испытанием, зафиксированным на видео, стала серия повторных наблюдений на одной точке с изменением наклона прибора. В этом испытании уже был задействован модуль ИНС. Значение угла наклона последовательно изменялось в диапазоне от 0 до 70 градусов относительно вертикального положения. Испытание выполнялось для оценки корректности работы модуля ИНС. При расстоянии 25 355 м до базовой станции во всех сериях наблюдений максимальное расхождение составило: 51 мм по оси X, 61 мм по оси Y, 42 мм по высоте. Эти значения показывают, что даже при значительном наклоне прибор позволяет выполнять топографическую съемку в масштабах до 1:500 включительно.

Последнее испытание включало проверку сходимости результатов наблюдений, выполняемых с помощью лазерного дальномера. Измерения проводились на вертикальную поверхность сериями со сменой планового положения приемника между сериями. Расстояние от прибора до поверхности варьировалось от 2,8 до 3 м. В этом режиме работы использовались: ГНСС-приемник, модуль ИНС и лазерный дальномер. При расстоянии около 25 350 м до базовой станции во всех сериях наблюдений максимальное расхождение составило: 20 мм по оси X, 7 мм по оси Y, 28 мм по высоте. Такая величина отклонений соответствует заявленной производителем точности, т. е. совокупное применение всех встроенных в SinoGNSS MARS дополнительных сенсоров не вызывает ощутимой потери точности.

На основе личного опыта автора статьи, а также опытной эксплуатации SinoGNSS MARS, показанной в видеороликах [3], можно сделать следующие выводы.

Во-первых, с помощью лазерного дальномера в нормальных условиях съемки (наклон приемника в пределах 15 градусов от вертикали и расстояние до

Рис. 4
Пример измерений ГНСС-приемником SinoGNSS MARS без применения ИНС и лазерного дальномера [4]

Рис. 5
ГНСС-приемник SinoGNSS JUPITER

Рис. 6
Пример измерения координат недоступных точек ГНСС-приемником SinoGNSS JUPITER на расстоянии до 50 м

измеряемой точки 7 м) можно получить координаты недоступных для прямых измерений точек объектов с точностью, сравнимой с работой прибора без лазерного дальномера, т. е. они практически эквивалентны.

Во-вторых, наибольшее влияние на точность оказывает угол наклона вехи, так как ухудшается качество приема спутникового сигнала, вероятно, за счет усиления влияния переотраженного сигнала — следует избегать экстремальных значений наклона приемника. Тем не менее, даже при максимальном угле наклона вехи точность достаточна для выполнения топографической съемки.

В-третьих, при увеличении расстояния до измеряемой точки ухудшается видимость пятна лазера на поверхности объекта и затрудняется точное наведение на цель, что значительно сказывается на точности измерений — следует избегать работы на дистанции более 10 м от измеряемого объекта. Несмотря на наличие лазерного дальномера в приборе SinoGNSS MARS, он не является полноценной заменой электронному тахеометру, хотя значительно облегчает съемку труднодоступных точек, расположенных в пределах 10 м от прибора, и исключает необходимость домера рулеткой. При этом все измерения выполняются сразу на месте без дополнительной постобработки. Встроенный лазерный дальномер эффективно используется не только при съемке, но и при выносе проекта в натуру, позволяя в режиме реального времени указывать лучом лазера положение проектной точки. И главный вывод: с учетом разумной ценовой политики выбор в пользу такого прибора для работы является обоснованным.

Приборы SinoGNSS MARS и SinoGNSS VENUS внесены в Государственный реестр средств измерений и могут быть полноценно использованы для выполнения геодезических работ.

Если говорить о дальнейшем развитии наметившегося направления по интеграции различных сенсоров в одном приборе, то в 2024 г. был представлен ГНСС-приемник SinoGNSS JUPITER [5], в котором интегрированы: ИНС, лазерный дальномер и две видеокамеры (рис. 5). Основная видеокамера установлена во фронтальной поверхности корпуса приемника, а вторая — в основании корпуса и ориентирована вниз. Фронтальная видеокамера служит не только и не столько для сбора фотограмметрической информации, сколько для целеуказания в режиме съемки и ускоренной навигации на проектную точку при выносе ее в натуру. Видеокамера в основании предназначена для наведения вехи на проектную точку при выносе ее в натуру.

Фронтальная видеокамера при выносе проекта в натуру позволила решить проблему наведения луча лазера на цель при ярком освещении на расстоянии более 10 м: изображение с видеокамеры выводится в режиме реального времени на экран контроллера, а на него по координатам проецируется точка, на которую наведен лазер дальномера. Таким образом, благодаря встроенной видеокамере и усовершенствованному модулю ИНС, удалось увеличить рабочее расстояние до 50 м (рис. 6), а вынос проекта в натуру стал еще более наглядным и удобным.

Поступление ГНСС-приемника SinoGNSS JUPITER в опытную эксплуатацию ожидается в ближайшее время. С полученными результатами полевого тестирования можно будет ознакомиться в социальных сетях компании ГСИ.

Список литературы

1. Приемники SinoGNSS компании ComNav Technology из КНР // Геопрофи. — 2023. — № 6. — С. 20–24.

2. Компания «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ» представляет ГНСС-приемники SinoGNSS MARS и SinoGNSS T20 // Геопрофи. — 2024. — № 2. — С. 18–19.

3. ГНСС-оборудование SinoGNSS. — https://rutube.ru/plst/400167.

4. Полевое тестирование ГНСС-приемника SinoGNSS MARS. — https://rutube.ru/video/dff9d16225d63d5bf66d9636b0367908/?playlist=400167.

5. Команда ГСИ на CHINTERGEO 2024 // Геопрофи. — 2024. — № 6. — С. 11–12.