

INERTIAL EXPLORER — МОЩНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ГНСС + ИНС

А.Н. Воронов («ГНСС плюс»)

В 2002 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». С 2005 г. работал в ЗАО «ПРИН», с 2013 г. — в Группе компаний «Геодезия и Строительство». С 2019 г. работает в ООО «ГНСС плюс», в настоящее время — директор по развитию.

А.И. Козырев («ГНСС плюс»)

В 1982 г. окончил Московский геологоразведочный институт им. Серго Орджоникидзе по специальности «горный инженер-геофизик». После окончания института по 1991 г. работал в Кавалеровской геофизической экспедиции Приморгеологии (Владивосток), с 1998 г. по 2002 г. — в Приморском аэрогеодезическом предприятии (Владивосток), с 2004 г. — в ЗАО «ПРИН». С 2017 г. работает в ООО «ГНСС плюс», в настоящее время — ведущий инженер.

Что общего между высокоточной навигацией на земле, воде и в воздухе?

Высокоточное позиционирование наземных, водных и воздушных объектов с использованием ГНСС зачастую сопряжено с трудностями, связанными с кратковременным или долгосрочным блокированием спутниковых сигналов как полностью, так и частично. Даже частичная блокировка спутниковых навигационных сигналов значительно ухудшает точность позиционирования.

При движении автомобиля или поезда на пути следования встречаются мосты, транспортные развязки и тоннели. Автомобильная или железная дорога может пролегать в горной или холмистой местности вдоль высоких склонов и других естественных препятствий. Очевидно, что ГНСС-сигнал в таких условиях неизбежно будет прерываться. Свою лепту вносит и плотная городская застройка, когда прием спутни-

ковых сигналов невозможен или ограничен.

Речные суда, как правило, ежедневно проходят под мостами разной ширины. Нередко, высокая береговая линия закрывает часть небосвода. При выполнении высокоточных гидрографических и различных изыскательских работ на воде очень важны параметры движения (ускорения) изыскательской аппаратуры в трех осях, поэтому даже небольшие волны оказывают существенное влияние на точность получаемых результатов.

Воздушные суда (объекты) зачастую подвергаются турбулентности, сносу ветром и воздействию сложных метеословий. Нередко летательные аппараты попадают в зоны глушения ГНСС-сигналов. В этих случаях позиционирование существенно осложняется, а также затруднено вычисление таких параметров, как курс, крен, тангаж и рысканье.

Комплексирование ГНСС-измерений с данными инерциаль-

ных систем в значительной степени улучшает точность позиционирования в неблагоприятных условиях, часть из которых описана выше, а в некоторых случаях инерциальные данные напрямую используются приложениями, требующими для своих задач мгновенные параметры движения объекта.

Запатентованная технология SPAN компании NovAtel позволяет объединить две разные, но взаимодополняющие технологии пространственного позиционирования — спутниковые и инерциальные методы пространственной навигации (ГНСС + ИНС).

ГНСС-приемники обеспечивают абсолютную точность спутниковых определений путем решения пространственной засечки по принимаемым спутниковым сигналам. В случае потери сигналов со спутников на помощь приходят гироскопы и акселерометры инерциальных модулей, данные которых (ускорения, векторы скорости) позво-

ляют непрерывно вычислять трехмерные координаты движущегося объекта. Таким образом, не происходит разрывов в определении координат точек траектории.

В зависимости от типа и технических характеристик гироскопов и акселерометров варьируются параметры времени «ухода» точности позиционирования в период полной потери приема спутниковых сигналов.

Инерциальные измерительные модули различаются по типу используемых гироскопов и акселерометров, а модули одного типа имеют разную чувствительность, что влияет на точность-временные характеристики всей системы (ГНСС + ИНС). Инерциальные измерительные модули имеют разные габариты (вес и размер). К примеру, самые компактные Epson G320N и Epson G370N весят всего 10 г, а размер каждого из них составляет 24x24x10 мм. В то же время инерциальный измерительный модуль NovAtel ISA 100C весит 5 кг, его размеры 180x150x137 мм.

Помимо отдельных инерциальных измерительных модулей существуют и успешно применяются моноблочные (однокорпусные) ГНСС + ИНС системы, где в едином корпусе ГНСС и ИНС компоненты объединены на программно-аппаратном уровне. Такие устройства могут быть выполнены как в одно-, так и в двухантенном варианте. С помощью двух одновременно работающих ГНСС-антенн с высокой точностью определяются параметры курса движущегося объекта, а также максимально быстро выполняется инициализация инерциальной измерительной системы.

Комплексированные (ГНСС + ИНС) системы могут осуществлять непрерывное высокоточное позиционирование движущегося объекта в режиме реального времени, а также записывать «сырые» данные ГНСС и ИНС для последующей обработки в спе-

NovAtel Epson G370N — инерциальный измерительный модуль МЭМС:



- малошумные гироскопы и акселерометры коммерческого класса;
- очень компактный и прочный корпус;
- частота передачи инерциальных данных до 200 Гц;
- прямой интерфейс SPI для подключения к ГНСС приемникам NovAtel OEM7;
- функциональность SPAN (ГНСС + ИНС);
- не обременяется требованиями ITR.

NovAtel IMU-ISA-100C — инерциальный измерительный модуль премиум-класса.



- Технические особенности:
- малошумящие волоконно-оптические гироскопы и акселерометры МЭМС;
 - возможность стационарной юстировки (на месте);
 - частота передачи данных 200 Гц;
 - может поставляться с дополнительным входом для датчика колеса;
 - возможность совместного решения SPAN (ГНСС + ИНС) с настраиваемыми профилями приложений;
 - не обременяется требованиями ITR.

Преимущества:

- оптимален для аэросъемки, гидрографических исследований и промышленного применения;
- простая интеграция с ГНСС-приемниками NovAtel, поддерживающими SPAN (ГНСС + ИНС);
- возможность коммерческого использования;
- идеально подходит для использования в контрольных эталонных системах.

циализированном программном обеспечении.

Для случаев, когда требуется с максимально возможной точностью вычислить траекторию или определить трехмерное местоположение отдельно взятой точки этой траектории используются специализированные программы постобработки.

Мировым лидером в области совместной обработки ГНСС и

ИНС измерений является программа Inertial Explorer (IE) компании NovAtel.

Inertial Explorer имеет интерфейс и инструментарий обработки, идентичные программе GrafNav (подробнее см. «Геопрофи» № 1-2021, с. 17–20), а анализ «сырых» данных и результатов обработки выполняется с помощью расширенного списка сравнительных и оценочных графиков.

NovAtel SPAN CPT7 — компактная моноблочная ГНСС + ИНС система:



- 555 каналов, мультисистемный, мультисистемный;
- возможность работы от двух ГНСС-антенн;
- точное вычисление курса;
- поддержка сервиса дифференциальной коррекции TerraStar;
- частота передачи данных 200 Гц;
- гироскопы и акселерометры МЭМС;
- коммерческое производство и использование.

NovAtel PwrPak7-E1 — GNSS + ИНС система, выполненная в компактном и прочном корпусе.



Технические особенности:

- малошумящие гироскопы и акселерометры коммерческого класса;
- разъем для подключения колесного датчика;
- поддержка сервиса дифференциальной коррекции TerraStar;
- улучшенное обнаружение и подавление радиопомех;

- конфигурирование возможностей под конкретное приложение;
- встроенный Wi-Fi;
- внутренняя память 16 Гбайт.

Преимущества:

- простая интеграция в устройства с ограниченным пространством;
- предназначение для коммерческого использования;
- подходит для эксплуатации в суровых климатических условиях;
- расширенные возможности подключения, включая последовательный порт, USB, CAN и Ethernet;
- способность работы с новыми GNSS-созвездиями.

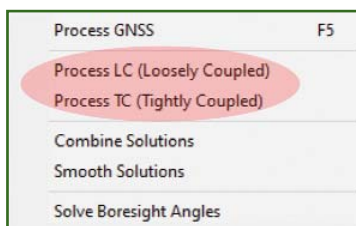


Рис. 1

Выбор метода обработки GNSS + ИНС данных (слабо связанный / жестко связанный)

Наряду с традиционной обработкой только GNSS данных, Inertial Explorer предназначен для совместной обработки GNSS и ИНС данных, причем в зависимости от задач и качества исходных данных можно выбрать два режима обработки: слабо связанный (LC) и жестко связанный (TC) (рис. 1).

При слабо связанном режиме сначала обрабатываются только GNSS данные, затем результаты обработки (координаты точек траектории и скорости) передаются в слабо связанный процессор (Loosely Coupled), где для вычисления траектории инерциальные данные уточняются ранее полученными GNSS-решениями. Стандартно (по умолчанию)

нию) программа предлагает использовать GNSS данные из комбинированного решения, однако могут быть выбраны альтернативные данные (внешняя траектория, например RTK). В таком двухэтапном режиме есть возможность добиться наилучшего результата обработки траектории по GNSS данным — до совместной обработки LC.

В жестко связанном режиме GNSS и ИНС данные обрабатываются одновременно. Этот режим предпочтителен, когда данные собирались в сложных условиях приема GNSS-сигналов. Поскольку он максимизирует использование GNSS данных, так как в совместной обработке (Tightly Coupled) могут использоваться данные всего от двух спутников для расчета пройденного расстояния и направления. Это позволяет значительно уменьшить нарастание инерционной ошибки в период полного отсутствия решения местоположения по GNSS данным.

Обработка жестко связанных данных GNSS-приемника и инерциального модуля позволяет получать точные результаты даже при использовании инерциальных датчиков с не очень

высокой чувствительностью. Возможности IE удовлетворяют строгим требованиям различных приложений, таких как мобильное картографирование, аэрофотосъемка и гидрографические исследования.

Программа может обрабатывать данные инерциальных модулей, выполненных на высокопроизводительных оптоволоконных гироскопах (FOG) или кольцевых лазерных гироскопах (RLG), а также на сенсорных технологиях более низкой точности, таких как микроэлектромеханические системы (МЭМС).

IE уже имеет несколько стандартных профилей обработки (шаблонов), которые пользователь может применять в зависимости от методики сбора данных (воздушными, наземными или надводными транспортными средствами и др.) (рис. 2).

В программе есть мастер настроек проекта, позволяющий новым пользователям быстро настроить и обработать GNSS + ИНС данные, используя наиболее подходящий шаблон. Для более опытных пользователей доступно множество вариантов настроек режимов обработки

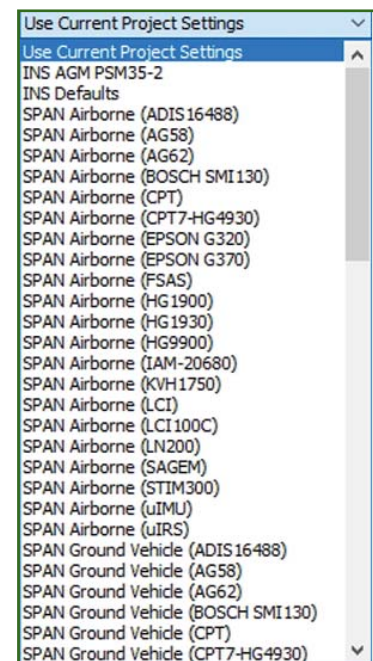


Рис. 2

Выбор стандартного профиля обработки (шаблона)

как ГНСС данных, так и ИНС данных.

Программа может по загруженному файлу сырых измерений автоматически определить тип выполненной съемки (воздушная, наземная, пешая или морская), а также позволяет автоматически использовать соответствующие настройки обработки ГНСС + ИНС данных. Это упрощает процесс обработки и позволяет сократить время обучения, которое необходимо для уверенного пользования программой IE и получения качественных результатов обработки.

Особенности программы Inertial Explorer:

- возможность обработки данных двухчастотных приемни-

- Angles) для расчета углов разворота между осями инерциального измерительного модуля и осями подвижной платформы, на которой он установлен;

- режимы слабо и жестко связанной обработки ГНСС + ИНС данных;

- гибкая настройка параметров экспорта в формате ASCII;

- прямой экспорт в форматы Google Earth, RIEGL POF/POQ, DXF и SBET;

- создание отчетов QC в формате HTML;

- модуль вычисления смещений между центром инерциального модуля и ГНСС-антенной (как основной, так и курсовой), при использовании двухантенного ГНСС-приемника;

- возможность ограничения скорости для оптимальной обработки как медленного пешеходного трека, так и более быстрой траектории, полученной с использованием наземного транспорта, особенно в сложных условиях приема ГНСС-сигнала.

Преимущества программы Inertial Explorer:

- простая интеграция с продукцией NovAtel SPAN (ГНСС + ИНС);

- оптимизированная настройка мастера проектов для быстрого запуска обработок;

- одновременная обработка данных ГНСС и инерциальных измерительных модулей для достижения наилучшего эффекта;

- встроенные шаблоны обработки для воздушных, назем-



Рис. 3

Монтаж тестируемых ГНСС + ИНС систем

ков ГНСС — GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo и QZSS;

- возможность обработки L1/L2 (включая E5b, B2I) или L1/L5 (включая E5a, B3I) для различных приложений;

- возможность загрузки в проект данных от 32 базовых станций;

- автоматическая корректировка ориентации с учетом эффекта отклонений вертикали — использование геопотенциальной модели Земли на основе EGM2008;

- наличие модуля уточнения визирования (Solve Boresight

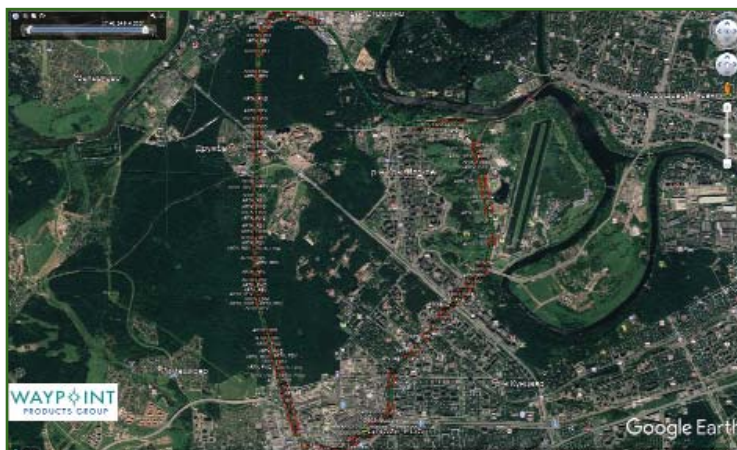


Рис. 4

Общая траектория движения при проведении испытаний

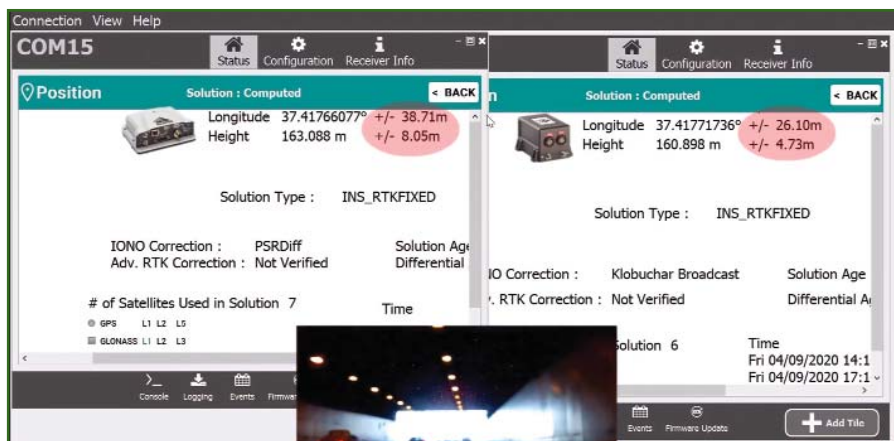


Рис. 5

Накопленная ошибка тестируемых ГНСС + ИНС систем в режиме RTK при проезде по тоннелю

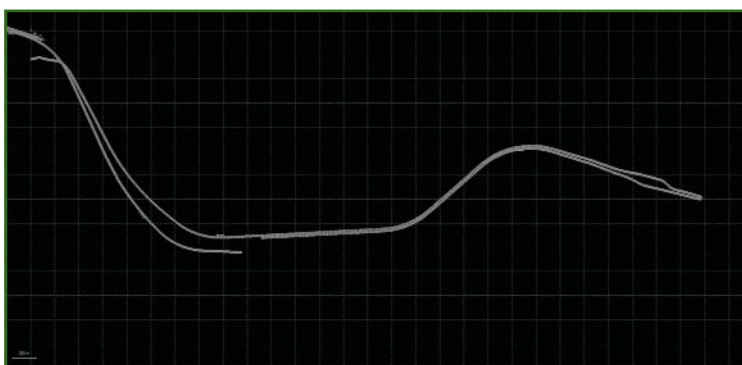


Рис. 6

Траектория ГНСС + ИНС системы PwrPak7D-E1 в режиме реального времени

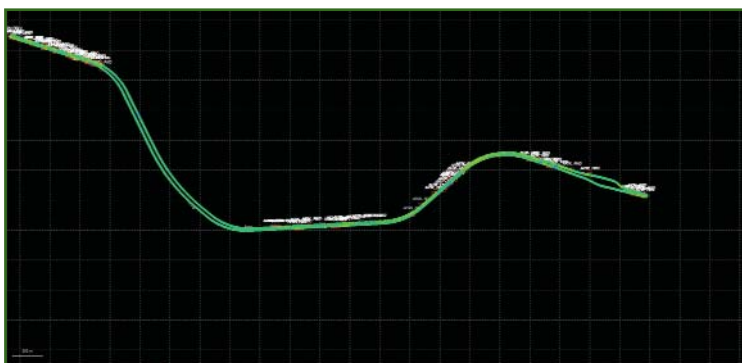


Рис. 7

Траектория ГНСС + ИНС системы PwrPak7D-E1 после обработки в программе Inertial Explorer

ных, пеших, беспилотных и морских проектов;

— поддержка обработки траекторий от нескольких базовых станций;

— обработка методом точно-го позиционирования (PPP).

Рассмотрим совместную обработку ГНСС и ИНС данных в программе Inertial Explorer на примере очередных полевых испытаний оборудования, проведенных инженерами компании «ГНСС плюс».

На легковом автомобиле были установлены две ГНСС + ИНС системы производства компании NovAtel — SPAN CPT7 и PwrPak7D-E1. Устройства были жестко закреплены на конструкции внутри автомобиля и через сплиттер подключены к двум (одним и тем же) ГНСС-антеннам (рис. 3).

Положение центров ГНСС + ИНС систем относительно центров ГНСС-антенн определялись с помощью электронного тахеометра. Полученные «офсеты» (смещения) вносились с использованием управляющей программы NovAtel Connect в настройки работы каждой системы.

Оба устройства работали в режиме RTK от постоянно действующей базовой станции компании «ГНСС плюс». При этом осуществлялась запись «сырых» ГНСС данных на базовой станции и запись «сырых» ГНСС + ИНС данных с систем, установленных на автомобиле (SPAN CPT7 и PwrPak7D-E1).

В рамках программы испытаний был осуществлен проезд по Северо-Западному тоннелю в Москве (рис. 4).

В режиме RTK, после осуществления проезда по всей длине тоннеля, накопилась плановая ошибка позиционирования порядка 26 м для SPAN CPT7 и плановая ошибка порядка 38 м для PwrPak7D-E1 (рис. 5).

После загрузки и обработки ГНСС + ИНС данных в программе Inertial Explorer плановая точность точек вычисленной траектории, проходящей по тоннелю, для каждого устройства составила несколько дециметров. В процессе обработки применялась операция «обработка в прямом и обратном по времени направлении», а также использовался инструмент «сглаживание» (рис. 6, 7).

Официальным дилером компании NovAtel на территории РФ является компания «ГНСС плюс». Узнать больше о возможностях программы Inertial Explorer можно у технических специалистов компании.