

Инерциальные навигационные системы:

надежная навигация в любых условиях

Спутниковая навигация и мониторинг прочно вошли в нашу жизнь. Трудно найти частные или корпоративные устройства, в которых нет приемников ГНСС (глобальных навигационных спутниковых систем), применяющихся для удобства, планирования и оптимизации, а в ряде случаев обязательных к применению в соответствии с рядом постановлений. Однако иногда доступ к сигналам ГНСС пропадает, и в некоторых случаях это может привести к возникновению рисков для людей и техники. В статье рассмотрено решение этой проблемы с помощью инерциальных навигационных систем.

Алексей Торпок
alexey@toropkov.ru

Действующие лидирующие глобальные системы — ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Beidou (Китай), Galileo (Европа) — покрывают большую территорию земного шара и продолжают развиваться. Оборудование ГНСС производится массово с различными точностями и характеристиками, что позволяет любому заказчику выбрать оптимальный вариант для решения стоящей именно перед ним задачи.

Однако есть целый ряд случаев и применений, когда сигналы ГНСС не доступны, а решение задач навигации критически важно. Речь идет в первую очередь о наземном транспорте/объектах для ответственных применений (перевозка людей, ценных и опасных грузов), для строительной, лесной, карьерной и прочей специализированной техники, диагностических дорожных лабораторий:

- Пожарный автомобиль, въезжающий в горящий лес и не имеющий возможности из него выехать из-за отсутствия видимости от задымленности и неработоспособности ГНСС от листьев и веток деревьев. Риск гибели людей и техники.

- Невозможность мониторинга автомобиля в тоннеле с дорогостоящим ценным грузом, его отсечение от машин сопровождения и увод в ответвления злоумышленниками для совершения противоправных действий.

- Без навигации ГНСС для обеспечения правильной траектории движения остается рудничный добывающий комбайн при зарезании в пласт для добычи руды.

А еще сигналы ГЛОНАСС/GPS/Beidou могут умышленно глушиться или в них могут вноситься ошибки — так называемая спутниковая телепортация, когда объект виден на карте совсем не в том месте, где реально находится. Самое популярное такое место в Москве в районе Кремля, когда пользователи ГЛОНАСС/GPS отображаются на карте за пределами города в районе аэропорта Внуково.

Стоит ли говорить о важности навигации, вне зависимости от наличия ГНСС, для бурно развивающегося рынка беспилотных транспортных средств, которые уже в режиме тестирования десятками и сотнями передвигаются в ряде крупных городов России?



Рис. 1. Различные модели БИНС МЭМС и ВОГ

Это не фантазии и не выдержки из сценариев блокбастеров, а конкретные примеры из жизни, от которых страдают реальные пользователи и операторы.

Решать задачу навигации, в том числе высокоточной, автономной (при отсутствии сигналов ГНСС), непрерывной, призваны инерциальные навигационные системы (БИНС), в состав которых входят несколько акселерометров и гироскопов, а также сложная математика, программное обеспечение, методики калибровки, алгоритмия.

БИНС комплексированы с оборудованием ГНСС, и в случае отсутствия или ошибок в его сигналах навигация осуществляется инерциальным способом.

Компанией «Гиролаб» разработана и серийно выпускается линейка инерциальных навигационных систем на базе МЭМС, волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов.

На рис. 1 представлен ряд моделей БИНС МЭМС и ВОГ в различных исполнениях.

Помимо навигации, БИНС обеспечивают решение целого ряда других задач, заложенных в ее функционал:

- Навигация и мониторинг: обеспечение непрерывности и повышение надежности навигационного решения в проектах навигации и мониторинга транспорта/объектов

при пропадании информации от ГНСС (глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS/Beidou), например в тоннелях, лесах, гаражах, при глушении и внесении ошибок в сигнал ГНСС (спутникового телепортация) и т. д., а также сглаживание информации от ГНСС, получая навигационную информацию с частотой до 600 раз в секунду. Уход навигационных параметров БЕЗ ГНСС составляет от 3% от пройденного пути (150 м на 5 км) до 0,2% от пройденного пути (10 м на 5 км) в зависимости от выбранной БИНС.

- Контроль, измерения и диагностика: возможность ведения журнала контроля движения для предотвращения и уменьшения аварийности, в процессе возникновения и развития аварийной ситуации («до», «во время», «после») с привязкой к координатам и угловым величинам и контроль многочисленных параметров и их превышений, таких как крены, тангажи, вибрации, опрокидывания, удары, осуществление контроля всех параметров, включая перегрузки в требуемом диапазоне («черный ящик»). Задачи по второму пункту представляются не менее значимыми, чем инерциальная навигация. Так же как уведомление водителей о мониторинге транспорта посредством

ГЛОНАСС/GPS дисциплинирует их и позволяет минимизировать «левые» рейсы, превышения скорости и т. д., так же и оснащение блоком БИНС позволяет уменьшить аварийность и/или иметь возможность детально воссоздать причины аварии и выявить виновников.

Возможность с достаточной точностью определять манеру и условия эксплуатации транспортных средств с привязкой к дорогам, по которым они передвигались, позволяет минимизировать спорные ситуации относительно необходимости гарантийного ремонта. Так, к нам обратилось предприятие, выпускающее прицепы для грузовых автомобилей, один из крупных заказчиков которого нещадно их эксплуатирует, постоянно допускает перегрузки и передвигается с неверно выбранными скоростными режимами по пересеченной местности, что приводит к поломкам из-за неправильной эксплуатации. Но заказчик требует от производителя выполнить дорогостоящий ремонт по гарантии. Чтобы избежать спорных ситуаций, производитель планирует устанавливать БИНС и указывать их применение в договорах, для использования в режиме «черного ящика» с фиксированием превышений значений по ударам, вибрациям и угловым значениям. Также по этим данным можно анализировать проседание прицепа

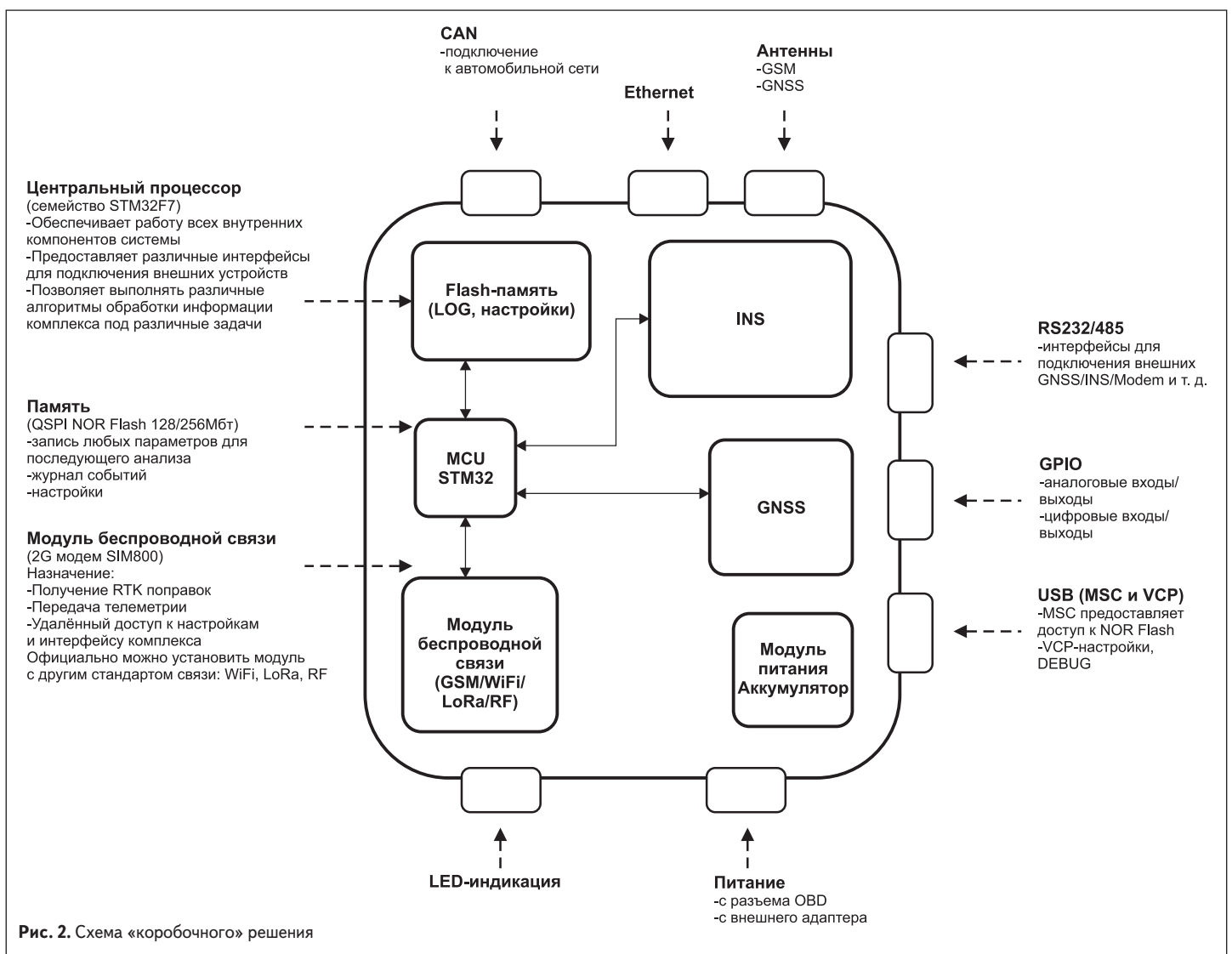


Рис. 2. Схема «коробочного» решения

Таблица 1. Основные технические характеристики БИНС МЭМС «ГЛ-ВГ110»

Точность счисления пройденного пути (σ) (требуется одометр)	5% (от пройденного пути в течение 60 с после потери данных от СНС)
Угол рыскания, уход (σ), °/ч	50
Крен, тангаж (σ), °	0,4 (наличие одометра или СНС) 1 (отсутствие одометра и СНС)
Погрешность приращения угла рыскания (σ), %	0,8

Таблица 2. Точностные характеристики БИНС на базе волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов

Погрешность счисления координат (σ) с коррекцией от одометра, не более, % (от пройденного пути)	0,2
Погрешность начального определения угла курса (σ), не более, °	0,04/cos (широты)
Погрешность удержания угла курса за 1 ч работы (σ), не более, °	0,01
Погрешность определения углов: крен, тангаж (σ), не более, °	0,02 (неподвижное основание: 0,01)
Погрешность счисления высоты (σ) с коррекцией от одометра, не более, % (от пройденного пути)	0,15
Диапазон: X/Y/Z, °/с	±500
Диапазон линейных ускорений: X/Y/Z (g)	±10 (по заказу до 30g)

(перегруз), по каким дорогам он передвигался и с какими скоростями (ровный асфальт, пересеченная местность и т. д.). В настоящее время проводятся испытания для анализа того, какие еще данные можно получать благодаря применению БИНС.

Оборудование производится в различных вариантах, в зависимости от задач и требований заказчика:

- от блока ИНС, который может быть объединен с уже имеющимся на объекте оборудованием спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS/Beidou) и прочими системами с настройкой/подключением к штатному одометру одним из способов: посредством OBD-II-разъема, через интерфейс CAN и т. д;

- до «коробочного» решения под ключ, включающего ГЛОНАСС/GPS-оборудование по выбору заказчика, а также монтаж и настройку прочих дополнительных датчиков.

«Коробочное» решение является интегрированным инерциально-спутниковым навигационным и контрольно-измерительным комплексом по схеме на рис. 2.

Решение обеспечивает:

- Модульный подход. В комплекс уже заложены все необходимые элементы для простого подключения и начала эксплуатации с возможностью подключения различных внутренних и внешних ГНСС, БИНС и других модулей с различными характеристиками.
- Комплексование БИНС и ГНСС.

- Запись любых параметров для дальнейшей обработки.
- Беспроводной канал связи на выбор (GSM, Wi-Fi, LoRa, Sat и т. д.).
- Возможность использования RTK-режима.
- Подключение к автомобильной CAN-сети.
- Стыковка с прочим различным оборудованием заказчика.
- Возможность выполнения пользовательских алгоритмов обработки данных на MCU.
- Платформа для поиска оптимальных решений и тестирования различного оборудования в контексте задач заказчика.

В основе комплексов лежат БИНС, по умолчанию оснащаются БИНС МЭМС «ГЛ-ВГ110» с основными характеристиками, представленными в таблице 1.

Благодаря унифицированному протоколу сопряжения есть возможность оперативной замены БИНС на любую другую модель с точностями на выбор вплоть до БИНС на базе волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов с точностями, представленными в таблице 2.

Оборудование уже применяется в спецтехнике для навигации и стабилизации, в составе комплексов ряда беспилотных наземных транспортных средств, поставляется в составе диагностических дорожных лабораторий, в автономных роботах-охранниках, а также в авиационных и морских приложениях (беспилотный катер, автономные необитаемые подводные аппараты, в составе навигационно-пилотажных комплексов в малой авиации, в составе гиростабилизированной платформы авиационной РЛС и прочих проектах), для навигации при высокоточном направленном бурении. ■