

Инерциальные модули ГКВ в системе наведения антенн SOTM

Александр Бекмачев (bae@favorit-ec.ru), Андрей Михеев (am@mp-lab.ru), Александр Галкин (alexgalkin.jr@gmail.com)

Компания Лаборатория Микроприборов – ООО ЛМП не только производит блоки инерциально-спутниковой навигации, но и занимается их адаптацией и внедрением в клиентские проекты. В этой статье приводится теория и описывается практика использования модулей серии ГКВ в системах управления мобильными антеннами спутниковой связи SOTM.

Необходимость быть на связи и привычка обмениваться значительными потоками данных стала для многих наших современников обыденностью. Фраза «я в метро, сейчас связь пропадёт» уходит в прошлое, даже в высокоскоростном поезде доступ в Интернет перестал быть привилегией пассажиров бизнес-класса – базовые станции сотовой связи, установленные вблизи железнодорожных путей, позволяют оставаться онлайн. Другая картина на открытых водных пространствах, в горах, в тайге, в воздухе – за пределами зоны покрытия стационарных точек доступа к каналам обмена данными и голосовой связи. Здесь связь с подвижным объектом обеспечивают спутниковые антенны дуплексного канала связи в Ku/Ka-диапазоне, осуществляющие приём и передачу данных через геостационарные искусственные спутники Земли. Именно благодаря такой антенне можно подключиться к Wi-Fi на борту самолета и

оставаться в глобальной сети во время полёта на высоте 10 000 метров.

Стремительно растёт спрос на наличие связи в любом месте и в любое время как необходимое условие для работы коммерческих мультимедийных систем, для обработки данных дистанционного зондирования наземной инфраструктуры, а также для работы средств связи, наблюдения и разведки. Потребность в поддержании постоянной мобильной связи независимо от местонахождения обусловила значительный рост предложений продукции и услуг с использованием спутниковой связи – SATCOM и особенно используемых в ней мобильных устройств – SATCOM on-the-move, или кратко – SOTM.

Спутниковая связь подразумевает использование сети геостационарных спутников для передачи сигнала радиосвязи между передатчиком и приёмником, расположенными в двух разных точках Земли. Ключевой задачей любой системы спутниковой связи является

поддержание соединения по линии прямой видимости с целевым спутником. К счастью, отслеживать его необходимости нет, поскольку его орбита синхронизирована с вращением Земли, тем самым фиксируя его положение в небе. В связи с этим от терминала спутниковой связи требуется высокая точность наведения для отправки и приёма большого объёма данных и предотвращения помех на соседних спутниках, поскольку спутники на геостационарной орбите размещены очень плотно, в нескольких градусах друг от друга. Фактически, для того чтобы максимально увеличить мощность передачи антенны и остаться в рамках нормативных требований, предъявляемых к наземным станциям, установленным на транспортных средствах, погрешность наведения антенны должна быть менее $0,2^\circ$ (3σ), как показано на рис. 1.

Мобильные терминалы спутниковой системы связи для средств наземного транспорта обычно оснащены спутниковой антенной, установленной на перемещаемом в вертикальном и горизонтальном направлении подвесе, поворачивающем и наклоняющем антенну для правильной ориентации. Для определения вектора наведения терминалу требуются данные, получаемые от приёмника глобальной навигационной спутниковой системы

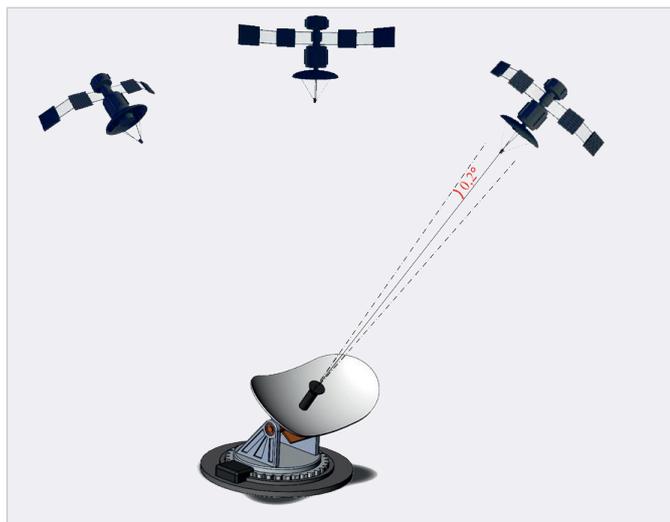


Рис. 1. Схема взаимодействия подвижного терминала с геостационарной спутниковой группировкой

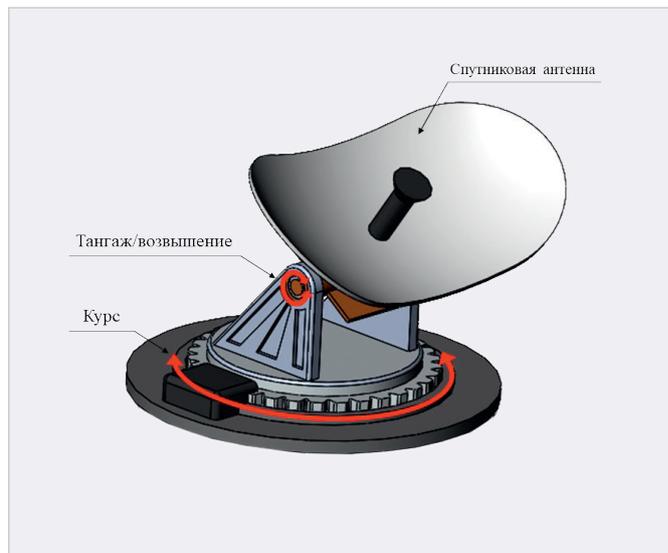


Рис. 2. Степени свободы антенны SOTM

(ГНСС) ГЛОНАСС/GPS/Beidou, – координаты и скорость транспортного средства, а также от инерциального модуля – ориентация подвеса. С помощью полученных из всех этих источников данных система управления терминала (СУТ) может определить необходимый вектор наведения и задать спутниковой антенне системы требуемую направленность (рис. 2, 3).

Характеристики инерциального модуля выбираются исходя из особенностей режимов работы и динамики объекта, на котором установлена антенна SOTM. При этом модуль инерциальной навигационной системы (ИНС) часто оснащается встроенным приёмником сигналов ГНСС, который может использовать для приёма сигналов спутниковой навигации как одну, так и две антенны (рис. 4, 5).

Системы спутниковой связи в основном используются на крупных морских и воздушных объектах с малой динамикой движения. Практика показала, что динамика подобных судов недостаточна для коррекции курсовой составляющей системами с одноантенными приёмниками ГНСС. При работе в условной статике или при длительном прямолинейном движении лучшим решением является использование двухантенных систем, поскольку в этой конфигурации появляется техническая возможность указания курса от мастер-ровер приёмника. Для более маневренных объектов – маломерных судов, наземного транспорта и т.п. – вполне подходит использование одноантенных инерциально-спутниковых навигационных систем.

В практике построения СУТ применяются описанные далее подходы к размещению датчиков положения и приёмников/антенн ГНСС. Основные отличия вариантов 1, 2 и 3 состоят в месте установки модуля ИНС на опорно-поворотном устройстве (ОПУ) терминала спутниковой связи с антенной SOTM.

Вариант 1. ИНС размещена только на внутренней оси (рис. 6).

Это самый простой для системы управления способ, он обеспечивает прямое измерение наведения антенны, а также обратную связь для её стабилизации, но имеет ограничение из-за способа установки.

Вариант 2. ИНС установлена на основании подвеса или на азимутальной оси вращения и дополнен датчиками обратной связи с обеих осей – вращающимися энкодерами (рис. 7).

Наиболее частая схема в приложениях мобильных средств спутниковой

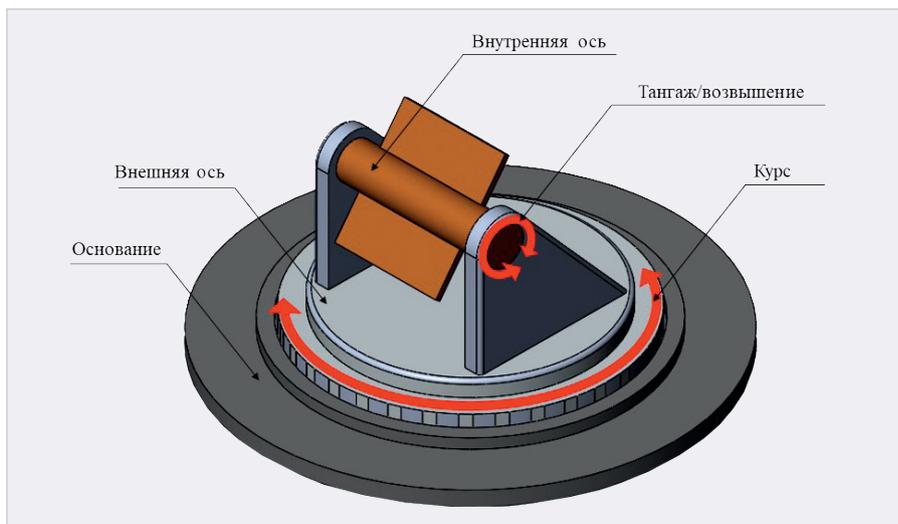


Рис. 3. Упрощённая схема опорно-поворотного устройства (ОПУ)



Рис. 4. Одноантенные инерциальные навигационные модули со встроенным приёмником ГНСС: а) ГКВ-11; б) ГКВ-6



Рис. 5. Двухантенные инерциальные навигационные модули со встроенным приёмником ГНСС: а) ГКВ-12; б) ГКВ-7

связи – установка в основании подвеса модулей ИНС и приёмников ГНСС. Приёмники могут быть как встроенными в ИНС, так и самостоятельными узлами. Системы ИНС+ГНСС обеспечивают положение и ориентацию основания в абсолютной системе координат, а датчики обратной связи обеспечивают взаимную ориентацию между основанием и внутренней осью. ГНСС-приёмник или ГНСС-антенна могут находиться и снаружи антенны, и внутри неё.

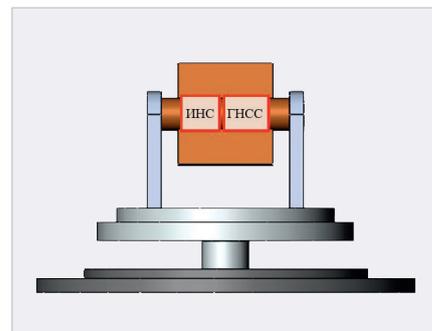


Рис. 6. Размещение ИНС+ГНСС на внутренней оси (на тарелке) SOTM

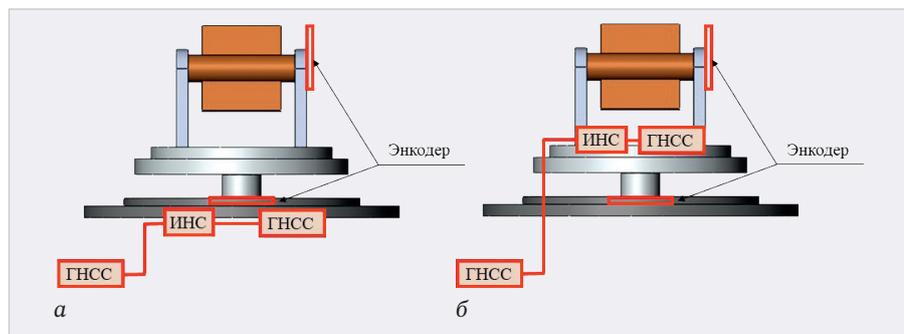


Рис. 7. Размещение ИНС+ГНСС в терминале SOTM по варианту 2: а) на основании опоры/подвеса; б) на азимутальной оси

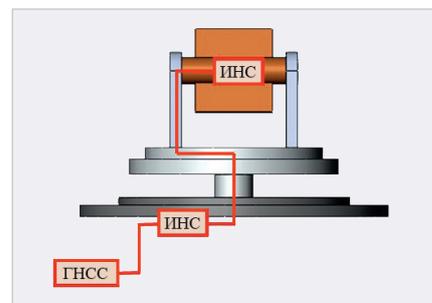


Рис. 8. Вариант СУТ SOTM с двумя модулями ИНС+ГНСС, один из которых не имеет встроенного приёмника ГНСС

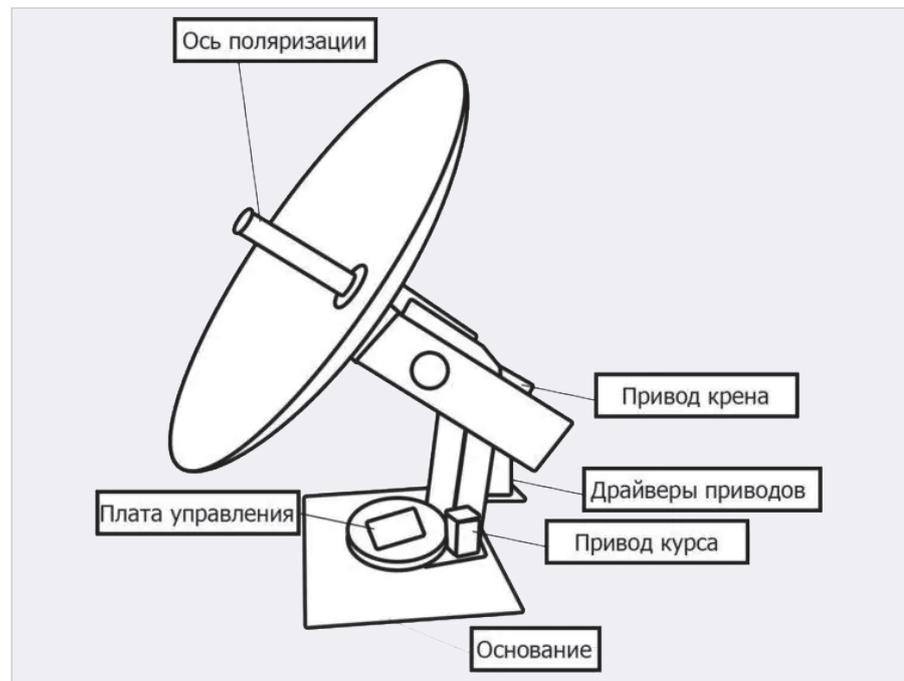


Рис. 9. Схема четырёхосной морской антенны

Вариант 3. Применено два модуля ИНС, один из них – на основании, другой – на тарелке антенны (рис. 8).

Такая компоновка сочетает в себе преимущества вариантов № 1 и № 2 и позволяет обойти проблемы сложной установки и отказаться от использования энкодеров в осях свободы, что положительно скажется на отказоустойчивости системы в целом.

Разработчику СУТ необходимо позаботиться о компенсации суммарной погрешности, которая результирует влияние следующих факторов.

1. Несоосность установки ИНС на ОПУ, которая должна быть учтена при производстве. Обычно компенсируется индивидуальной калибровкой каждой антенны.
2. Собственная погрешность встроенных энкодеров и ошибка неортогональности осей ОПУ, это явление свойственно конфигурации системы по варианту 1.

3. Недостовверная информация, поступающая от приёмника ГНСС. Источником ошибок в потоках данных ГНСС могут быть сцинтилляция радиосигналов из-за ионосферных мерцаний, ослабления и искажения сигналов в силу природных и техногенных причин в нижних слоях атмосферы и в приземном слое, а также преднамеренное подавление – jamming и подмена – spoofing. Основной метод компенсации таких ошибок – программный анализ, фильтрация и программная коррекция в корреляции с данными ИНС и с учётом мощности принимаемого сигнала ГНСС.

4. Временная задержка. Минимальное время между измерением навигационных параметров и передачей их в систему управления приводами существенно влияет на точность наведения спутниковой антенны.
5. Погрешность управления. Для приложений слежения за целью с датчиком,

имеющим малый радиус обзора, слежение за перемещением цели требует как точного определения местоположения, так и точного управления.

Специалисты Лаборатории Микроприборов систематически ведут НИР с целью улучшения потребительских свойств своей продукции. Результаты анализа особенностей различных кинематических схем СУТ, понимание источников системных и случайных ошибок в «сырых» данных и в алгоритмах системы управления позволяет постоянно совершенствовать конструкцию и ПО собственных ИНС. Одним из таких достижений стало введение процедуры начальной выставки модулей ГНСС. В результате клиенты получили возможность проводить начальную выставку не только в статике, но и в движении, что значительно сокращает время до получения надёжного навигационного решения вне зависимости от стихии, в которой движется объект: по земле, воде или в воздухе.

Расскажем подробнее о разработке алгоритма наведения спутниковых антенн, установленных на подвижных носителях [1].

Рассматриваемый алгоритм подразумевает работу в двух системах координат – системе координат инерциального модуля и системе координат энкодеров антенны. Вычислив свою ориентацию на базе инерциальных сенсоров, а также собрав данные о текущем положении энкодеров антенны и о положении спутника на небосклоне, модуль вычисляет требуемое положение энкодеров антенны для наведения на спутник. По уровню сигнала спутника в процессе стабилизации антенн производится коррекция дрейфа нуля инерциального модуля в процессе работы. Данное решение позволяет упростить процесс разработки ПО для систем стабилизации, поскольку инерциальный модуль уже даёт требуемые углы осей антенны и освобождает вычислитель антенны от перевода

систем координат и решения проблемы ухода нуля инерциального модуля.

Отладка и тестирование производились на двух мобильных спутниковых антеннах различных типов: на четырёхосной корабельной антенне, а также на двухосной антенной решетке, предназначенной для установки на наземных мобильных носителях. Антенны для проведения работ были предоставлены ООО «Технологии Радиосвязи» (рис. 9).

Для каждой из антенн была разработана программа управления, предусматривающая работу в следующих режимах:

- ожидание команды начала работы с пульта управления;
- поиск концевых датчиков по каждой из осей;
- установка осей в условное нулевое положение, для осей крена и угла места – горизонтальное;
- сброс инерциального модуля и ожидание его инициализации;
- непосредственное управление положением осей антенны;
- наведение по заданному азимуту и углу места в режиме стабилизации;
- автоматический поиск и удержание спутника на заданном возвышении или по его долготе;

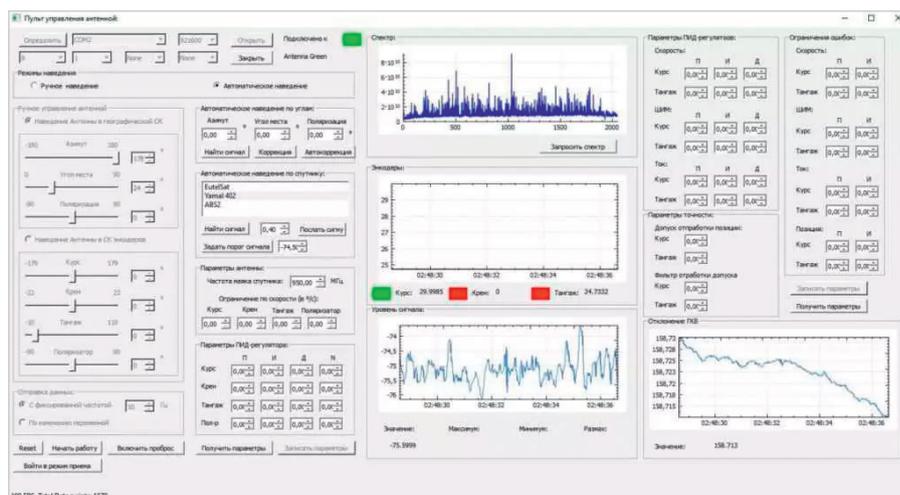


Рис. 10. Экран ПО «Пульт управления наведением»

- аварийный режим;
- режим сброса.

Для удобства управления каждой из этих систем был разработан программный пульт управления антенной для ПК. Пульт предусматривал управление антенной в каждом из режимов, настройку параметров маяка спутника и ПИД-регуляторов приводов осей, а также вывод текущего состояния антенны в виде графиков (рис. 10).

В ходе итоговой верификации обновленного ПО на основе полученных опытных данных было проведено тестирование инерциальной системы при качке. Система наведения прошла испытания в двух видах:

- водные испытания на мобильном носителе – катере;
- наземные испытания на мобильном носителе – автомобиле.

Целью испытаний была проверка работы механизма инициализации

МЫ РАСТИМ БУДУЩЕЕ...





ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ

ПРИЕМНИКИ ГНСС

ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Актуальный склад - смотрите онлайн



Реклама

Россия, 105318, Москва, Семеновская площадь, д.7, e-mail: info@favorit-ec.ru, тел/факс: +7(495) 627 76 24, www.favorit-ec.ru



Рис. 11. Антенна на катере

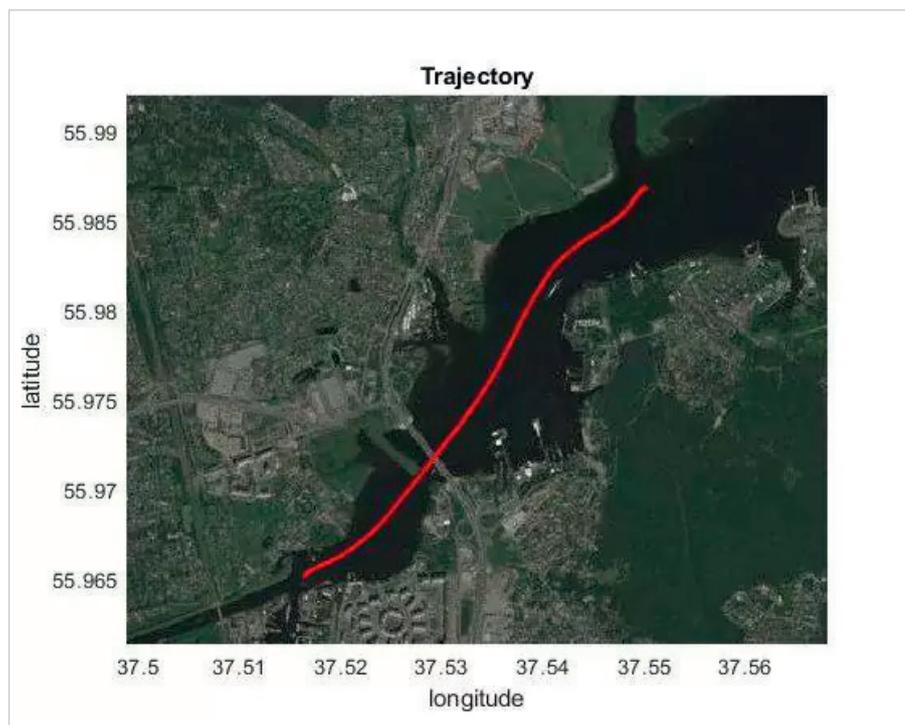


Рис. 12. Место испытаний и трек теста на воде при скорости 50 км/ч (данные GPS)

инерциальной системы в условиях морской качки и наземного движения, а также проверка работы механизма коррекции системы координат инерциальной системы по данным об уровне сигнала транспондера спутника.

В мобильных испытаниях использовалась более удобная в транспортировке антенная система SOTM.

Для проверки наведения использовался спутник Yamal 402, частота используемого транспондера 12 521,9 МГц.

При всех испытаниях алгоритм работы системы наведения был следующим:

- инициализация осей антенны и ожидание инициализации ГКВ-11;

- поиск сигнала транспондера выбранного спутника в диапазоне азимута $\pm 180^\circ$;
- переход ГКВ-11 в связанную с севером систему координат после нахождения сигнала;
- удержание сигнала транспондера спутника с коррекцией при понижении уровня сигнала.

Водные испытания. Стабилизация и наведение антенны

Для проверки работы навигационного алгоритма на воде проведены испытания на катере, с разной скоростью движения: 10, 20, 50 км/ч и сложными

траекториями движения – круги, «восьмерки», проезды под мостами (рис.11, 12). Каждое испытание имело стадии: инициализация, выставка ИНС, поиск спутника, переход в навигационный режим и удержание спутника антенной. Коррекция навигационных вычисления модуля ГКВ осуществлялась по данным от ГНСС приемника и по сигналу уровня мощности трансивера.

Трансивер антенны фиксирует мощность сигнала от спутника, падение сигнала должно быть не более 3 дБ. Система отработала штатно на всех скоростях, при поворотах наблюдалось просаживание мощности сигнала, это связано с несоосностью базиса ГКВ и ОПУ на $0,7^\circ$, которая была вычислена после испытаний.

Из-за несоосности навигационный фильтр больше учитывал коррекцию от ГНСС приемника и наблюдалось ослабление сигнала, при увеличении доверия к коррекции по сигналу трансивера, направление на спутник удалось удерживать, в том числе на поворотах. По итогам испытаний было решено сузить доверительный интервал по сигналу трансивера, а также выработать методику приведения осей ГКВ к осям ОПУ.

Наземные испытания. Коррекция ориентации

Проведены испытания на автомобиле в городских условиях и на пересеченной местности, спутниковая антенна установлена на крышу. Включение и наведение на спутник осуществлялось из состояния покоя и в движении.

В городских условиях сигнал от спутника терялся при затенении домами или при проездах под мостами и в 12 из 12 случаев восстанавливался до уровня не менее -3 дБ. Автомобиль двигался с разными скоростями: 10, 20, 50 км/ч, ускорениями и траекториями (рис. 13, 14). Как и на воде, наиболее сложной траекторией было круговое движение, но после увеличения доверия к сигналу трансивера ослабление приемного сигнала было в допуске.

Анализ полученных данных показал, что при движении на скоростях более 50 км/ч и поворотах не успевают отрабатывать приводы ОПУ.

В результате проведенной работы разработано программное решение задачи наведения мобильных спутниковых антенн, интегрированное в систему алгоритмов ИНС.

Данное решение способно функционировать, как в условиях коррекции по ГНСС, так и в автономном режиме, осу-



Рис. 13. Антенна SOTM, установленная на крыше автомобиля

ществляя коррекцию курса по мощности принимаемого трансивером сигнала.

Описанные выше мероприятия – это только часть работы, проводимой Лабораторией Микроприборов с целью совершенствования аппаратной и алгоритмической части собственных изделий [2]. Понимание потребностей клиента, совместные ОКР по созданию специальных исполнений для разных отраслей и накопленный опыт позволяют продукции ООО ЛМП конкурировать с блоками МЭМС инерциальных датчиков и ИНС зарубежного производства. Ранее мы рассказывали об испытаниях беспилотного автомобиля с системой навигации на основе модуля серии ГКВ [3]. Будут и новые истории успеха. Следите за нашими публикациями.

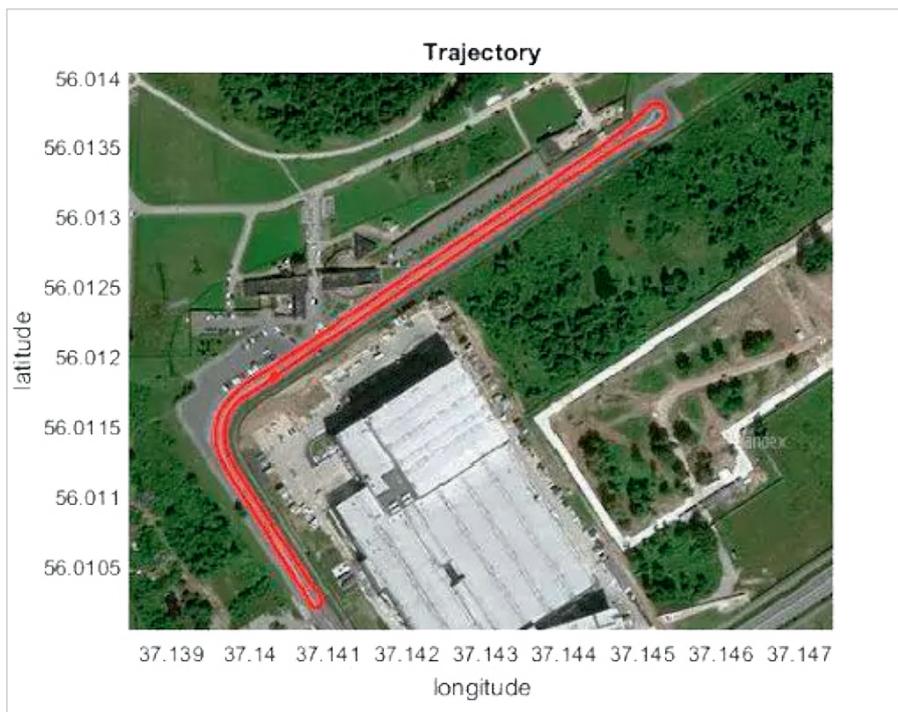


Рис. 14. Трек на месте проведения наземных испытаний (данные GPS)

Литература

1. Стабилизация антенн. URL: <https://mp-lab.ru/application/antenna-stabilization/>.
2. Бекмачев А., Михеев А. Беспилотная навигация: компоненты и решения // Современная электроника. 2021. № 3. С. 38–41.
3. Инерциальные навигационные системы для беспилотного транспорта. URL: <https://bespilot.com/news/991-mp-lab>. ©

ИНВЕРТОРЫ «ММП-ИРБИС»

ИНК2500-1С-1U ТУ6589-077-40059437-06

Выходная мощность 2500 Вт/3200 ВА

Инверторы ИНК2500-1С дополняют сеть оперативного постоянного тока (СОПТ) на электрических подстанциях сетью переменного тока.

Позволяют обеспечить бесперебойным питанием нагрузку до 15 кВт на фазу



Все характеристики серии



30 ЛЕТ
ММП-ИРБИС