

# Инерциальные модули ГКВ: борьба со спуфингом и новые возможности



ЛАБОРАТОРИЯ  
МИКРОПРИБОРОВ

ИНЕЛСО

В статье рассмотрены аппаратные и программные решения компании «Лаборатория Микроприборов» для автономной навигации различных транспортных средств, позволяющие бороться с негативными воздействиями на сигналы спутниковых систем позиционирования.

ООО «ИНЕЛСО», г. Санкт-Петербург

Смелые технологические фантазии сценаристов киносаги про агента 007 стали обыденной повседневностью по прошествии 30–40 лет: частный завод по производству космических кораблей-«челноков», беспилотные автомобили, биохакинг (управляющие микросхемы-импланты в телах животных и людей) — всё это уже общемировое достояние и способствует прогрессу человечества в целом. Но спуфинг! Он больше не фантастическое оружие киношного злодея-медиамагната. Спуфинг стал ощутимой головной болью не только в оборонных задачах, но и в повседневной хозяйственной деятельности: телематические сервисы, навигация в городских джунглях, маневрирование вблизи и на территории морских и речных портов, аэронавигация. Помехи приему сигналов глобальных систем спутниковой навигации (ГНСС) чреват не только экономическим уроном, но и представляют опасность для жизни и здоровья людей. Поэтому стали остро востребованы технические решения, которые спасают жизни в воздухе, на дороге и на воде.

Строго говоря, сейчас существует два рукотворных способа наведения помех на приемники ГНСС: **джамминг** и **спуфинг**, а также комплекс техногенных и природных причин ослабления и искажения сигналов навигации,

которые транслируются с геостационарных спутников Земли, например, ионосферная сцинтилляция.

**Джамминг** (англ. jamming) — подавление, обычно глушение широкополосным шумоподобным сигналом. Он может быть и непреднамеренным — следствием паразитных излучений находящихся поблизости прием-

но-передающих устройств. Но чаще всего это именно инструмент грубого, как дубинка, и преднамеренного нарушения приема сигнала ГНСС. Сравнительная дешевизна и прямолинейность джамминга являются и ограничивающими факторами его применения. Рутинный мониторинг радиоэфира позволяет своевременно

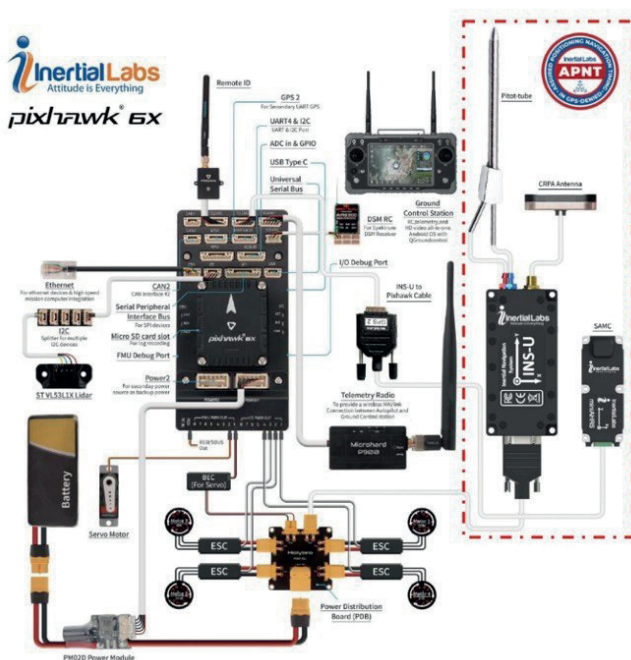


Рис. 1. Аппаратная часть блока навигации БПЛА без сигналов ГНСС от компании Inertial Labs. Изображение получено из публично доступных ресурсов сети интернет, из социальной сети LinkedIn

и с большой достоверностью установить факт и источник недружественной трансляции.

Гораздо более изящным, интеллектуальным и точным инструментом РЭБ является **спуфинг** (англ. spoofing) – подмена сигнала ГНСС. Суть спуфинга состоит в передаче сложной имитационной помехи на приемник ГНСС. Противодействие спуфингу требует адаптивного и комплексного решения, включающего специализированную аппаратную и программно-аналитическую составляющие.

За прошедшие несколько лет борьба «замка и отмычки» прошла уже несколько циклов, опробованы различные конструкции приемных антенн, для совершенствования ПО привлечены силы искусственного интеллекта, но явного и окончательного перевеса сил одной из сторон еще нет. Тем не менее очевидно, что до изобретения и начала практического применения навигации на новых физических принципах наиболее действенным остается совершенствование методов и компонентов автономной инерциальной навигации на период действия достоверно идентифицированной имитационной помехи. Вариант зарубежного технического решения для БПЛА по преодолению зоны с ненадежными или искаженными сигналами спутниковой навигации приведен на рис. 1. Полетный контроллер массовой модели дополнен внешним счетно-решающим устройством, получающим данные от приемника воздушного давления, высокоточного магнитного компаса и антенны с управляемой диаграммой направленности.

Конечно, работы в том же направлении ведутся и отечественными специалистами. Обратим внимание на одного из ветеранов отрасли: производителя блоков инерциальных датчиков и поставщика навигационных решений компании «Лаборатория Микроприборов» (ООО «ЛМП») из Зеленограда.

Основные области применения ее инерциальных модулей серий ГKB-10 и ГKB-5:

- ▶ навигация беспилотного наземного и водного транспорта;
- ▶ навигация БПЛА;
- ▶ блок дублирующих инерциальных датчиков для автопилота;
- ▶ вычисление траектории полета;

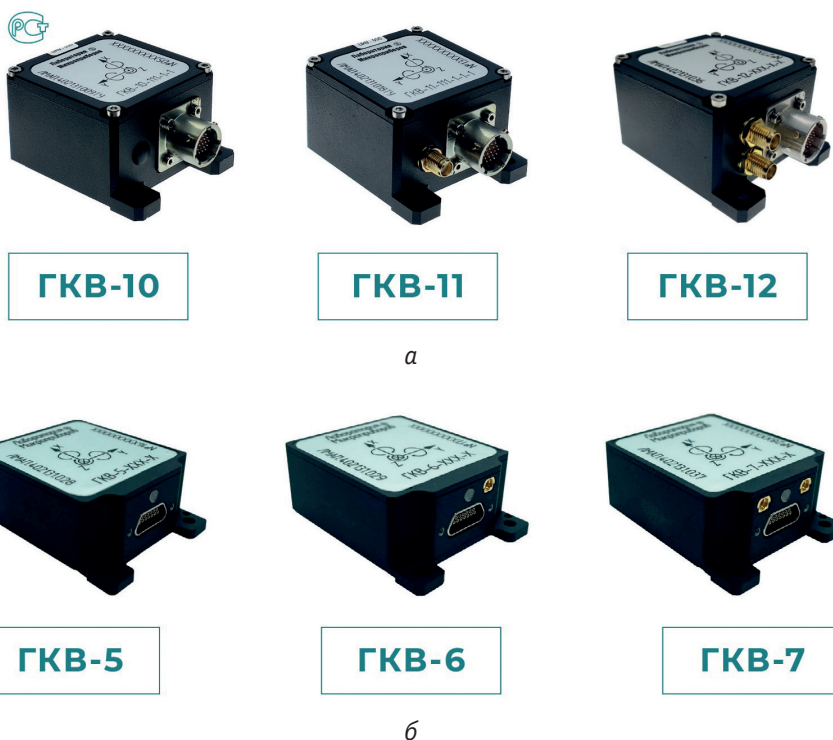


Рис. 2. Базовая линейка модулей семейства ГKB: а – ГKB-10, ГKB-11, ГKB-12; б – ГKB-5, ГKB-6, ГKB-7

Таблица 1. Параметры точности автономной навигации в плоскости с модулями серии ГKB

Временной интервал	Ошибка навигации без использования модели автомобиля, м, 1 СК0 (1 $\sigma$ )	Ошибка навигации с использованием модели автомобиля, м, 1 СК0	Ошибка навигации с использованием модели автомобиля и одометра (CAN), м, 1 СК0
30 с	3	1,3	1
1 мин	17	2	1,5
5 мин	500	15	8

Таблица 2. Параметры ориентации – крен/тангаж с модулями ГKB в наземном транспорте

Временной интервал	Ошибка крена/тангажа без использования модели автомобиля, градусы, 1 СК0 (1 $\sigma$ )	Ошибка крена/тангажа с использованием модели автомобиля, градусы, 1 СК0	Ошибка крена/тангажа с использованием модели автомобиля и одометра (CAN), градусы, 1 СК0
30 с	0,09	0,075	0,07
1 мин	0,11	0,08	0,08
5 мин	0,24	0,14	0,14
20 мин	0,47	0,18	0,18

Таблица 3. Параметры ориентации – курс с модулями ГKB в наземном транспорте

Временной интервал	Ошибка угла курса, градусы, 1 СК0
30 с	0,19
1 мин	0,26
5 мин	0,92
20 мин	2,4

- ▶ управление спутниковыми антеннами SOTM в движении;
- ▶ удержание направления в контуре стабилизации камеры.

Наибольших успехов компания достигла в области длительной автономной навигации сухопутных транспортных средств. Начиная с 2019 года финалисты таких конкурсов, как «Зимний город» и «Пятый уровень», полагаются в своих решениях на модули и ПО компании (рис. 2).

Основа этих побед – разработанный в «Лаборатории Микроприборов» алгоритм длительной автономной навигации по модели автомобиля и интеграция дополнительных измерений от внешних корректоров: лидаров, радаров, одометров. Преимуществами упомянутой модели автомобиля являются постоянная коррекция углов крена и тангажа и длительное время навигации с относительно небольшой вычисленной ошибкой.

Реально достижимые параметры точности ориентации и навигации для наземного транспорта, оборудованного модулями серии ГКВ, приведены в табл. 1–3. Из табл. 3 можно увидеть, что модель автомобиля имеет предел возможностей и не вносит значимого улучшения в ошибку курса. Очевидно, что для таких задач требуется дополнительный источник курсовой информации.

Для помощи своим клиентам в «беспилотизации» компания выпустила руководство: «Сценарий использования датчиков серии ГКВ на автомобиле», доступное для загрузки с сайта [1]. Производитель предоставляет потребителю возможность дополнить фильтр базового алгоритма своими (внешними) измерениями курса, скорости в навигационной или связанной системе координат, координатами, ориентацией полной и высотой. Потребитель, знающий специфику поведения своего объекта управления, кроме того, может применять такие улучшающие навигацию параметры, как момент применения измерений, тип измерения, время измерений, статус ответа и оценка точности измерений.

Необходимо упомянуть новый программный модуль встроенного ПО, призванный помочь противодействовать спуфингу. Это процедура идентификации и пропуска ложных измерений, которая выявляет и обрабатывает как события собственно спуфинга,

так и недостоверные блоки данных от других источников навигационной информации. Показатель NIS (нормализованный квадрат инноваций) используется для проверки согласованности фильтра Калмана с учетом невязки измерений  $v(k)$  и соответствующей ковариационной матрицы инноваций  $S(k)$ , участвующей в построении навигационного решения. Пример работы доработанного ПО приведен на рис. 3. Здесь данные измерений, признанные недостоверными, не учитываются при построении трека в условиях городской застройки.

Для задач воздушной навигации предпочтительным является компактный модуль облегченной конструкции ГКВ-5 и его исполнения со встроенными приемниками ГНСС ГКВ-6 и ГКВ-7 (двухантенный). Модуль ГКВ-5 обучен аппаратному и программному взаимодействию с внешним приемником, оснащенный помехозащищенной фазированной антенной ГНСС – так называемой CRPA.

Для навигации БПЛА при недостоверном или отсутствующем сигнале ГНСС хорошим подспорьем может быть заранее подготовленный фотоплан местности, карта магнитных аномалий или наземные ориентиры. Как показала практика применения модулей ГКВ, альтернативным внешним источником курсовой информации может служить также уровень мощности принимаемого антенной SOTM сигнала геостационарного спутника. Но такие «комфортные» условия не всегда реализуемы по организационным и техническим причинам. Поэто-

му разработчик модуля ГКВ в максимальной степени реализует потенциал имеющихся в составе изделия дополнительных датчиков: магнитометра и барометра-высотометра.

В связи с тем что на земле калибровка магнитометра осложнена внешними магнитными излучениями, эта процедура производится на начальном этапе полета посредством специального программного фильтра и особой тактики пилотирования, обеспечивающей надежное определение курса. В дальнейшем, после отключения измерений координат и скоростей по ГНСС, встроенным микро-ПО производится коррекция навигационного решения с учетом ранее накопленных данных. Решение об отказе от использования данных ГНСС принимается автоматически или после команды оператора на основе упомянутого ранее показателя NIS, выставляющего «флаг» спуфинга. С этого момента приоритетный расчет навигации выполняется на данных инерциальных датчиков и дополнительных источников до того момента, пока движок микро-ПО не найдет сигнал ГНСС, которому можно доверять.

В настоящий момент с участием заинтересованных потребителей ведутся работы по увеличению времени автономной работы алгоритма навигации – без ГНСС. Кроме описанной процедуры калибровки магнитометра в полете, отрабатываются при натурных испытаниях программные настройки интеграции с датчиком баровысоты, автоматическое вычисление скорости ветра на этапе

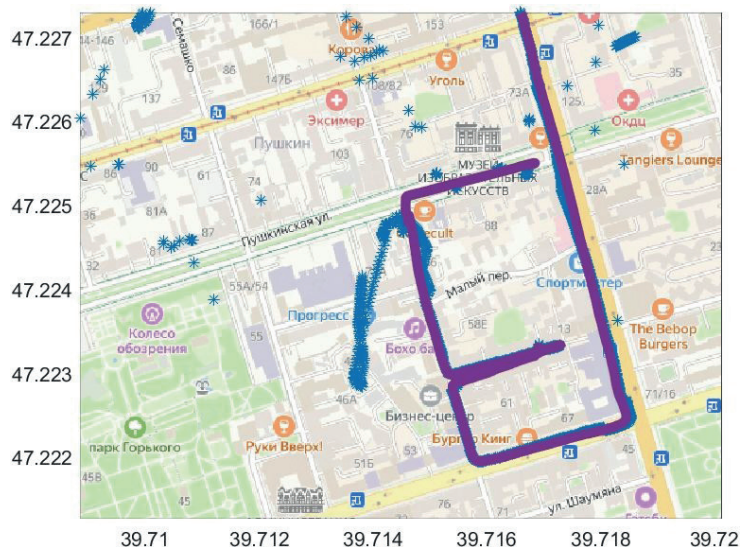


Рис. 3. Пример работы доработанного ПО

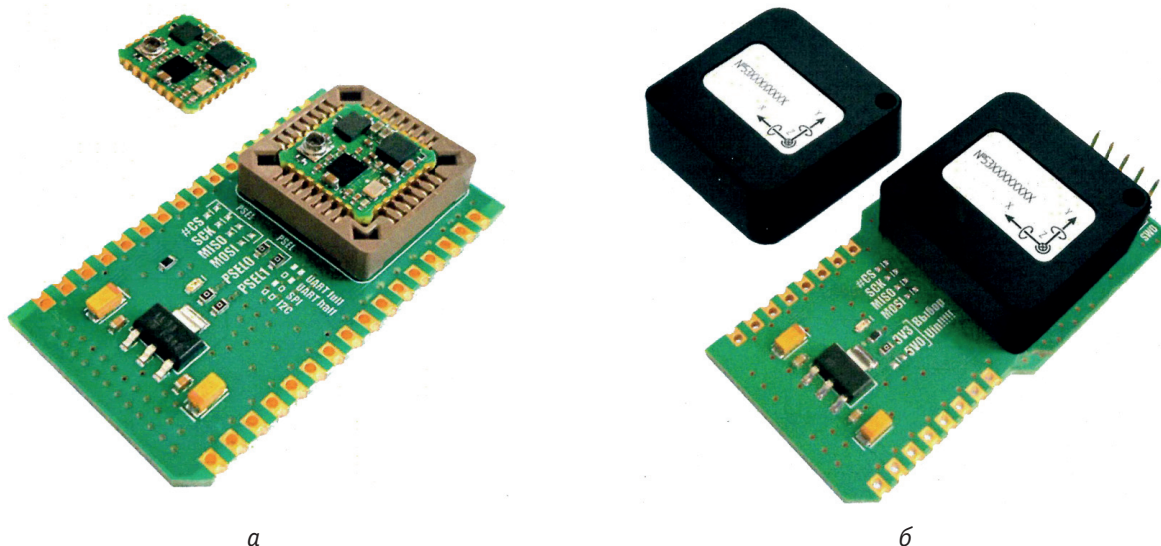


Рис. 4. Новинки «ЛМП»: а – инерциальный SMT-модуль ГКВ, аналог Xsens MTi-1; б – инерциальный встраиваемый модуль ГКВ, аналог Epson G330/G365/G366/G370

полета в зоне приема достоверных сигналов ГНСС и автоматическая подстройка датчика воздушного потока (ДВП).

Компания «ЛМП» также ведет работы по созданию надежных навигационных решений для водного транспорта без опоры на сигналы ГНСС. В этом случае приоритетная роль отводится интеграции инерциальной системы с доплеровским лагом. Полученные ко времени написания этой статьи результаты опытной эксплуатации в составе судового оборудования дают повод для оптимизма.

Решая текущие прикладные задачи, подобные борьбе со спуфингом, отечественный производитель уделяет внимание и импортозамещению. Анонсированы новые компактные инерциальные модули, которые являются преемниками программно-аппаратных решений прежних серий ГКВ. При этом новинки обеспечивают pin-to-pin-замещение широко применяемых в стране зарубежных изделий. Один из планируемых к выпуску модулей совместим с Xsens серии MTi-1, а другой служит заменой семейства Epson G330/G365/G366/G370 (рис. 4).

#### Литература

1. Сценарий использования датчиков серии ГКВ на автомобиле // Лаборатория Микроприборов: [сайт]. URL: <https://mp-lab.ru/сценарий-использования-датчиков-сер/> (дата обращения: 28.05.2025).

А. В. Михеев, технический директор,  
ООО «ЛМП», Зеленоград, г. Москва;  
А. Е. Бекмачев, к. т. н.,  
проектный менеджер,  
ООО «ИНЕЛСО», г. Санкт-Петербург,  
тел.: +7 (812) 628-0016,  
e-mail: [sales@inelso.ru](mailto:sales@inelso.ru),  
сайт: [www.inelso.ru](http://www.inelso.ru)