

Электронные системы геомагнитной навигации и перспективы РЭБ

Андрей Доезжаев

Беспилотные летательные аппараты и транспортные средства (БПЛА и БПТС) прочно вошли в повседневную жизнь. Однако вместе с этим обострилась проблема защиты их от перехвата управления, особенно учитывая повышение эффективности, мобильности и селективности средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Самым уязвимым элементом, вызывающим наибольшее внимание разработчиков радиоэлектронных систем, остаётся возможность подавления или отключения GPS, подмены сигнала и дистанционного захвата управления беспилотником, что может иметь серьёзные последствия. В связи с этим активно ведутся перспективные разработки в области альтернативных методов спутниковой навигации и комплексного контроля за перемещением беспилотных систем.

О прогрессе и эволюции РЭА

Прогресс в сфере радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) развивается стремительными темпами. Ещё совсем недавно, 14 апреля 1983 года, в Великобритании был представлен первый переносной радиотелефон – устройство, больше напоминавшее по размеру кирпич, чем современный гаджет. Именно он стал прародителем сегодняшних тонких и multifunctional смартфонов. Трудно было представить, что всего за 40 лет – в рамках жизни одного поколения – телефоны превратятся в устройства тоньше обычного журнала.

Беспилотные летательные аппараты сегодня активно трансформируются в универсальные платформы: от средств доставки оборудования до высокоточного оружия с возможностью такти-

ческого применения. Причём развитие этих систем идёт стремительными темпами. Только за период с 2023 по 2025 годы были разработаны и запущены в серийное производство комплексы РЭА для управления беспилотными автомобилями и грузовиками.

Однако столь бурный прогресс ставит перед обществом новые серьёзные вопросы. Один из них – обеспечение безопасности дорожного движения на дорогах общего пользования, особенно в условиях мегаполисов, где ежедневно перемещаются тысячи транспортных средств. Например, как можно гарантировать безопасность на таком сложном и нагруженном участке, как МКАД, если в общем потоке участвуют и БПТС?

Встаёт важнейший вопрос: насколько надёжны электронные системы управления и как они защищены от

внешнего вмешательства и перехвата управления? Ведь в случае взлома подобных систем последствия могут быть не просто серьёзными, а катастрофическими – с массовыми авариями, нарушением инфраструктуры и угрозой жизни людей.

Что происходит с установками РЭБ в России

Ситуация со средствами радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и системами постановки помех становится всё более сложной. В 2025 году, по сравнению с предыдущими периодами, средние затраты на приобретение антидроновых комплексов снижаются. Предприятия всё чаще руководствуются принципом «разумной достаточности»: небольшим организациям нет необходимости в дорогостоящих системах – им вполне подходят компактные и функциональные установки. В то же время мощные и громоздкие комплексы РЭБ остаются актуальными для крупных промышленных предприятий, объектов критической инфраструктуры, таких как нефтеперерабатывающие заводы, электроподстанции и транспортные узлы, где требуется масштабная защита и устойчивость к широкому спектру угроз [4].

Заказчики делятся на две группы: первая модернизирует уже имеющуюся систему противодействия дронам, вторая закупает оборудование с нуля. Для промышленных заказчиков цена установки составляет несколько десятков миллионов рублей, а для крупных или важных объектов может достигать нескольких сотен миллионов рублей. В основном антидроновые решения приобретаются для защиты объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК).

Рынок антидроновых систем разделяют на три составляющие. Первая – физическая защита: различные сети и укрытия. Это самая дешёвая статья расходов (от 300 руб. за 1 м²). Далее следуют средства РЭБ, этот сегмент делят отечественные и китайские поставщики. В дополнение к средствам РЭБ

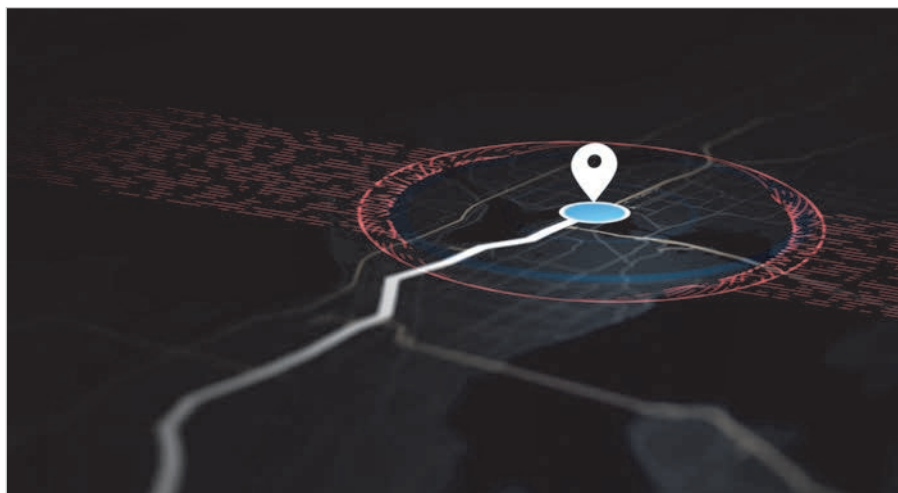


Рис. 1. Общий принцип определения координат

Общее описание спуфинг атаки

Спуфинг (от англ. spoofing — подмена, мистификация) — это атака, которая пытается обмануть GPS-приемник, широкоэмитируя передавая немного более мощный сигнал, чем полученный от спутников GPS, такой, чтобы быть похожим на ряд нормальных сигналов GPS.

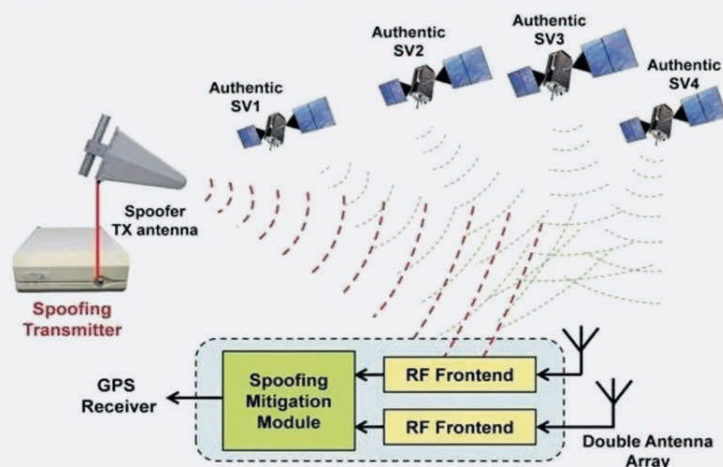


Рис. 2. Иллюстративная схема воздействия спуфинга

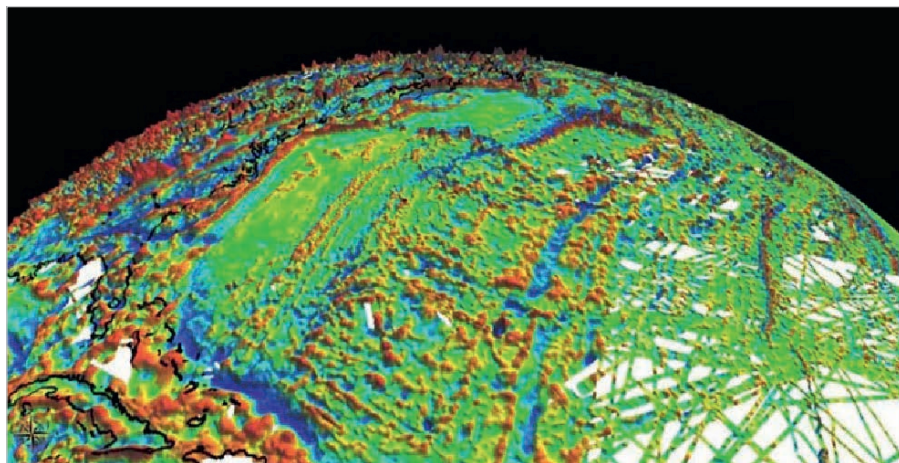


Рис. 3. Карта геомагнитной активности Земли

закупаются и средства наблюдения: радиолокаторы, лидары и специальные камеры.

Третья часть — средства кинетического поражения беспилотников: лазерные установки, дроны-перехватчики, противовоздушные комплексы «воздух-воздух» и «земля-воздух». Это самый перспективный сегмент рынка, и он будет расти в ближайшие годы.

Наряду с закупками антидроновых систем растёт недовольство со стороны заказчиков, потому что системы работают неэффективно, и предприятиям приходится заказывать технический аудит у независимых компаний. Актуальны две проблемы: несоответствие технических характеристик оборудования заявленным и его неправильное размещение на защищаемом объекте.

Общее о системах РЭБ и установке защитных помех

За последние несколько лет средства РЭБ, базирующиеся на значительном конструктивном заделе и наработках, сформированных ещё в СССР и продолженных в России, превратились в стратегический ресурс. Общий принцип определения координат с помощью спутникового оборудования представлен на рис. 1.

Дублирующие системы наведения (инерционные и другие на основе замещающей поверхности) не всегда обеспечивают необходимую точность наведения, в отличие от спутниковых систем GPS, ГЛОНАСС и GALILEO.

На рис. 2 представлена типичная схема воздействия спуфинга (подмены спутникового сигнала). Ещё одна проблема, заслуживающая внимания

специалистов, касается способа постановки помехи средствами РЭА специального назначения, симулирующими GPS-сигналы с сигнатурой, соответствующей другой территории, к примеру, соседней страны. Высокие технологии симуляции и GPS-спуфинга в данном примере влияют на навигацию БПЛА и могут приводить к отклонению полётной программы, когда объект лишается корректного управления, теряется или летит совсем в другую сторону.

Что касается известной технологии позиционирования по координатам GPS, некогда популярной и востребованной повсеместно, а теперь признаваемой специалистами как анахронизм эпохи, в качестве самостоятельной системы она недостаточна, поэтому применяется в комплексе с другими навигационными технологиями. Есть специальные и открытые интернет-ресурсы, фиксирующие в любой точке мира в реальном времени помехи GPS, к примеру GPSJam.org [3].

GPS не вечен: проблемные вопросы сегодняшнего дня

Уместно обратить внимание на интересный факт: GPS не вечен. Уровень развития автономного (или частично автономного) с электронной системой ДУ транспорта прямо влияет на национальную безопасность. Речь о РЭА — сканерах с инфракрасным и лазерным способами определения координат, уже установленных на современных транспортных средствах (ТС), включая гибридные автомобили и электромобили. Эти устройства РЭА могут дать условно точную карту местности там, где они используются. Причём внедрение или использование такой бытовой (гражданской) навигации внешними системами не заблокировано, и их владельцы могут даже не знать об использовании своих навигационных систем дистанционными инструментами.

Эхо торговой войны с повышением пошлин

Есть сведения о том, что разработчики в КНР непрерывно собирают данные бортовой телеметрии с проданных в США машин и в дальнейшем имеют возможность использовать информацию в военных целях. Например, составить точные карты для автономной навигации средств доставки крылатых ракет и управляемых снарядов, БПЛА с защитой от спуфинга.

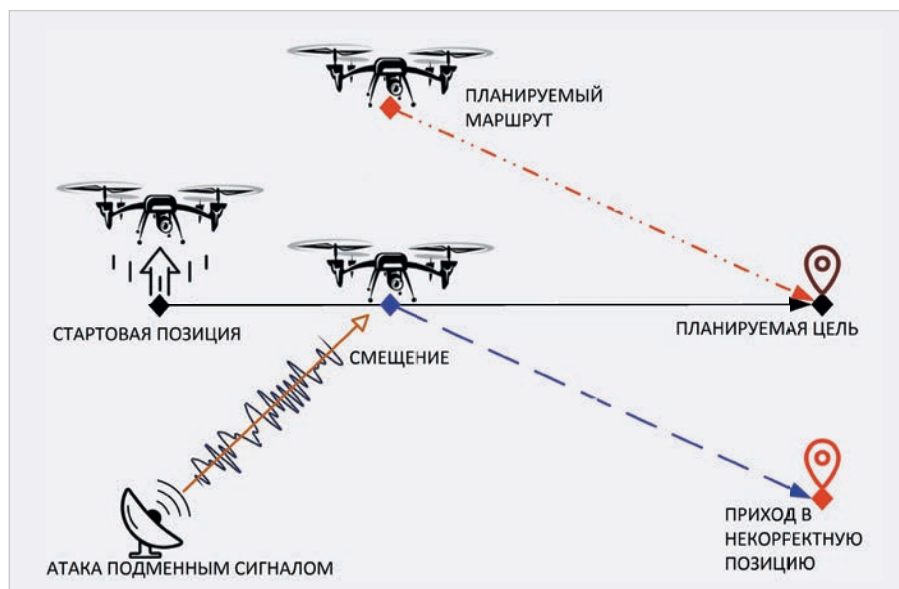


Рис. 4. Иллюстрация корректного (сверху) и некорректного (внизу) полета БПЛА при спуфинговой атаке

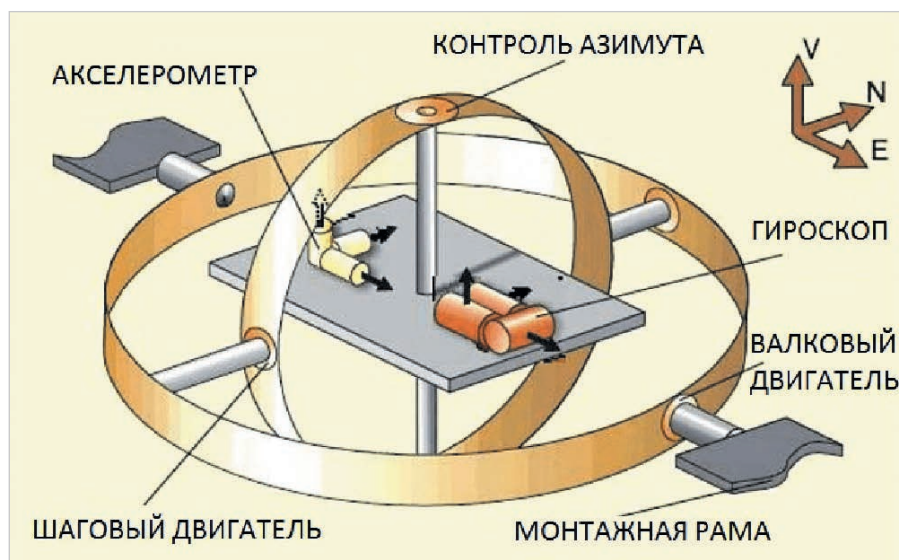


Рис. 5. Основные элементы управления движением БПЛА

Когда сегодня с большим рвением в СМИ поднимают тему «торговой войны», инициатором которой в начале 2025 года якобы выступил 45-й и 47-й президент США Дональд Трамп, обывателям забывают сообщить детали инициатив драконовских ввозных пошлин. А они имеют принципиальное значение: конкуренция на рынке между ведущими мировыми производителями дополняется защитой от съёма данных через ввозимые китайские автомобили.

Многие модели смартфонов с технологией локального позиционирования уже позволяют реализовать возможность навигации в помещениях, защищённых от проникновения сигнала сотовой связи и GPS. Эти технологии в том числе основаны на магнитных

аномалиях окружающей обстановки. Если предварительно картографировать магнитные поля и исключить сторонние возмущения ЭМ-помех на частоте основного сигнала, масштабировать данные системы, тогда речь идёт о навигационной РЭА, ориентирующейся на магнитные аномалии Земли. Причём полученные данные можно картографировать со спутника с точностью уже до метра.

Особенности РЭА геомагнитной навигации и шифрования

Одним из отечественных примеров в данной области можно назвать корреляционно-экстремальную систему навигации, разработанную в Раменском приборостроительном конструк-

торском бюро (РПКБ). В отличие от ранее известных электронных навигационных систем, действующих по заранее известным навигационным ориентирам, задача позиционирования решается на основе сразу нескольких эталонных параметров. За основу берутся карты рельефа замещающей поверхности, параметры гравитационного и магнитного полей Земли. Всё это работает в связке с инерционной навигационной системой, баро- и радиовысотомерами, магнито- и гравиметрами [1].

На рис. 3 показана карта геомагнитной активности Земли. Дублирующие системы с разным способом ориентации необходимы из-за большой зашумлённости магнитного поля, серьёзно снижающий точность навигации.

ИИ требуются большие объёмы информации для надёжной селекции шумов, именно поэтому особенное внимание разработчиков РЭА направлено на конструирование сверхчувствительной РЭА для качественного приёма сигналов. Одним из отечественных примеров подобной техники можно считать корреляционно-экстремальную систему навигации, разработанную в РПКБ.

На рис. 4 показано воздействие атаки спуфинга на БПЛА, а сверху – полёта с защищённой системой.

Работа над алгоритмами шифрования не менее важна. Параллельно активно разрабатываются способы оптимизации алгоритмов шифрования в облачных сервисах на основе технологии гомоморфного шифрования – уникального метода защиты данных, позволяющего производить вычисления над зашифрованной информацией без необходимости её дешифрования. Это открывает широкие возможности для безопасной обработки конфиденциальных данных в облачном хранилище и позволит создать надёжную систему защиты информации в соответствии с современными требованиями скорости и производительности.

Электронная интеллектуальная система обнаруживает обман по той же аналогии, как ведут борьбу с мошенниками, меняющими голос с помощью дипфейков, когда для анализа данных проводится анализ десятков характеристик голосовых данных: силы звука, тембра, изменения спектра, частоты, тона и других. АЧХ

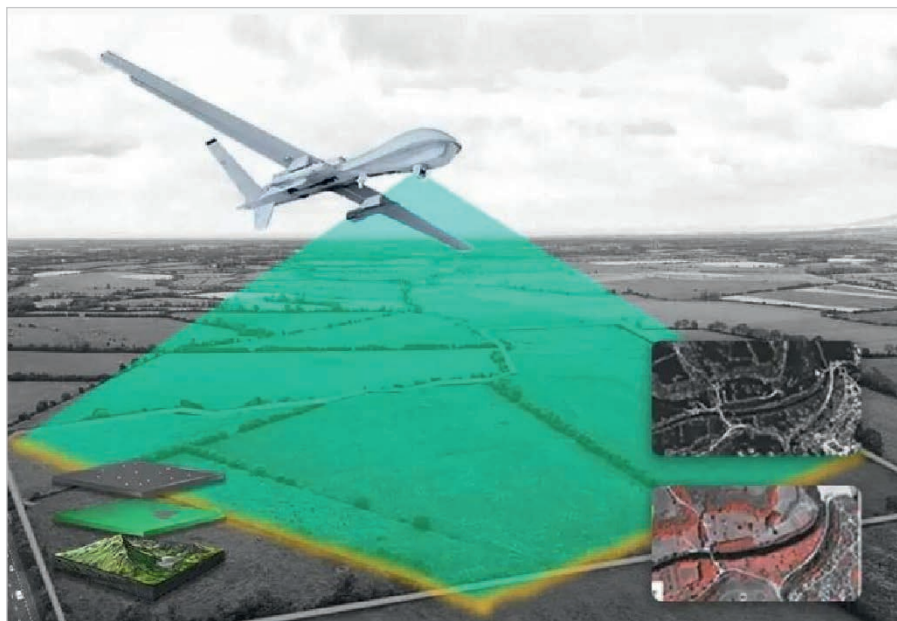


Рис. 6. Иллюстрация считывания ландшафта земли как элемент системы навигации и сравнения шаблонов, заложенных в память

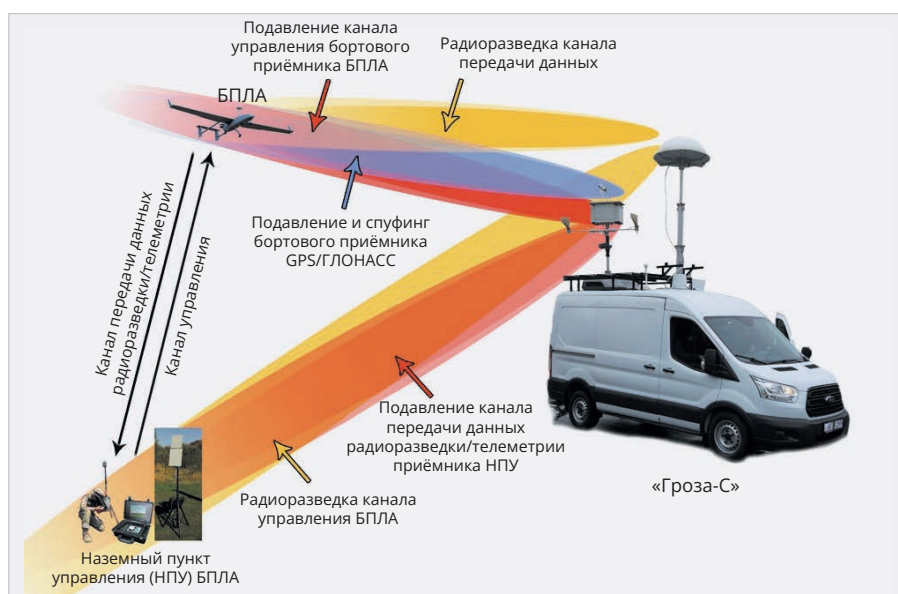


Рис. 7. Варианты воздействия на БПЛА разных сигналов с Земли под контролем системы РЭБ типа «Гроза-С» в гражданском и военном вариантах

голоса человека так же уникальны, как отпечатки пальцев или радужные оболочки глаз, именно поэтому идентификация по голосу входит комплексным фактором в ЕБС и системы идентификации, в том числе бытового назначения, где ординарные (эталонные) данные пополняют реестр на базе госинформсистемы «Антифрод» с протоколами защиты, аналогичными тем, что применяются на портале «Госуслуги».

Принцип защиты БПЛА в полёте

Защитные механизмы БПЛА в полёте и движении реализуются также с

помощью РЭА. На рис. 5 показаны основные части управления БПЛА. Принцип действия радарных уровнемеров основан на измерении времени распространения радиоволны от антенны уровнемера до поверхности продукта, уровень которого измеряется, и обратно. Радарные уровнемеры устойчивы к таким факторам, как запылённость, испарения с контролируемой поверхности, и обладают высокой точностью измерения в различных средах. На рис. 6 показан пример считывания ландшафта земли как элемент системы навигации и сравнения шаблонов, заложенных в программную память БПЛА.

Принцип работы системы глушения БПЛА

При обнаружении потенциальной угрозы со стороны беспилотника электронная система, анализируя несколько факторов, принимает решение на глушение (либо может работать в постоянном режиме постановки глушащей помехи). Сначала система нацеливается на каналы командной связи дрона, поскольку с операторами или со спутниками GPS в автоматическом режиме происходит взаимодействие на определённых радиочастотах [2]. Оборудование для глушения транслирует сильные помехи на этих частотах, эффективно заглушая настоящие сигналы управления или навигации. Эффективность помех во многом зависит от сложности конструкции БПЛА и его устойчивости к помехам. Некоторые модели БПЛА двойного назначения или предназначенные для военных целей оснащены технологией защиты от помех, что делает их нейтрализацию более сложной с помощью стандартных методов глушения (рис. 7).

Помехи нарушают способность дрона получать команды от оператора, а также существенно затрудняют доступ к сигналам GPS, необходимым для навигации. Без этих сигналов большинство дронов либо переходят в безопасный режим, который может включать возврат в заданное место или медленное снижение до посадки, либо просто зависают на месте, пока не закончится заряд батареи. Некоторые продвинутые системы глушения могут использовать спуфинг, когда устройство глушения формирует и передаёт ложные сигналы, имитирующие сигналы управления от оператора или сигналы GPS. Как мы показали выше, эффективный и своевременный мощный спуфинг может обмануть дрон и заставить его следовать ложным командам, что позволит глушителю косвенно контролировать траекторию полёта БПЛА.

Решения для глушения необходимы в различных сценариях, включая защиту военных объектов, аэропортов, важных коммерческих объектов и критической инфраструктуры и даже для предотвращения шпионажа или террористической деятельности. Такие решения используют взвешенно, с осторожностью, адекватно опасности, поскольку неизбирательное глушение может помешать нор-



Рис. 8. Квантовая электромагнитная навигационная система AQNav в трюме грузового самолёта C-17

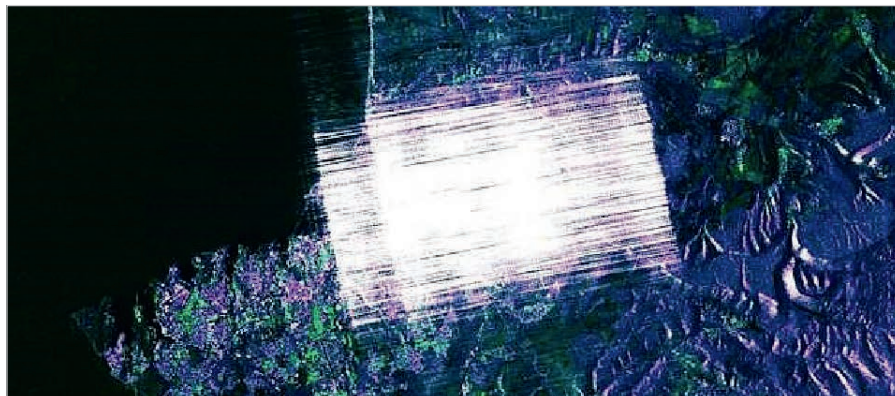


Рис. 9. Так выглядит шумовая помеха в проекции карты местности, сканированной со спутника, масштаб в 1 см – 1 км

мальной работе средств связи, РЭА и в целом легальной, полезной навигации в соответствующем районе [5].

Особенное объяснение фантомных меток на радарх РЛС

«Фантомные метки» – понятие сленговое, на профессиональном языке означающее препятствия, засекаемые электронным радаром – локатором самолёта. Об этом знает каждый опытный пилот.

Электронный радар построен на эффекте Доплера и действует по принципу дальномёра или эхолота: имеет встроенный генератор импульсов сверхвысокой радиочастоты и приёмник сигналов на той же частоте. Есть отличия в радарх направленного действия и работающих в режиме сканера пространства вокруг – на 360° – во все стороны от объекта.

Когда нет препятствий, отправленный локатором сигнал поглощается пространством. Когда сигнал отражается от препятствия (в воздушном пространстве), он воспринимается приёмником, при этом электронная система просчитывает автоматически время прохода отражённого сигнала в пространстве – так определяется дистанция до объекта, и можно классифицировать сам объект по массе, форм-фактору (габаритам) и другим параметрам. Поэтому говорить о том, что обнаружен фантомный объект или НЛО, некорректно. Всегда можно установить курс, размер, форму, иные особенности, вплоть до радиоактивного излучения. Соответственно сигнал радары самолёта (вертолёта) может показать в разном формате и стаи птиц, и БПЛА, и встречный самолет в том же «эшелоне» высоты, и электромагнитную волну, и изменя-

ющийся грозовой фронт – всё то, что в разной степени отражает сигнал.

Радары гражданских самолетов (и их пилоты) не могут классифицировать цели (объекты) по форм-фактору, в отличие от военных РЛС. Поэтому так называемые фантомные метки на радарх гражданских самолетов – не более чем стаи птиц или даже скопление облачности или грозовые поля при соответствующих метеоусловиях. Смотреть надо не на наличие меток, а на динамику изменения их активности. Стаи птиц типично не летят на одной высоте, они перемещаются; облака, отражающие сигнал радара при наличии грозовой активности, не перемещаются со скоростью самолета; возможные и крупные БПЛА редко летят на высотах 12–18 км над землёй, не меняя траектории полёта.

Если объекты, зафиксированные гражданским радаром, исчезают с радара (как временные явления, что чаще всего) – опасаться нечего. Если остаются активными в той же фазе, направлении и локации, тогда уместно зафиксировать полученные данные в бортовом журнале и в переговорах с диспетчером (с автоматической фиксацией в бортовом чёрном ящике) и сопоставить данные с РЛС военных по месту и времени.

Новейшие квантовые сенсорные устройства РЭА

Самолёты, вертолёты и БПЛА могут избежать влияния РЭБ. Пока же, несмотря на попытки разработчиков, на каждый БПЛА или управляемый снаряд (ракеты) систему AQNav не установить из-за габаритов и потребления энергии.

Чтобы сохранить систему в действии и предотвратить влияние спуфинга на случай подавления сигналов,

используют геомагнитную навигацию в связке с GPS-системами.

Фильтрацию входящих сигналов обеспечивают устройства геомагнитной навигации с ИИ. Из американского опыта можно привести пример компании SandboxAQ, презентовавшей систему квантовых сенсоров AQNav с ИИ. Последние, по заверениям разработчиков, весьма чувствительны, улавливают едва заметные деформации магнитного поля, а модуль ИИ в режиме реального времени проводит сверку с эталонными картами и так игнорирует шумовые помехи и РЭБ (рис. 8).

Это навигационная система широкого назначения для противодействия подмене и глушению GPS. Когда сигналы GPS подавлены или недоступны, AQNav использует алгоритмы искусственного интеллекта, чувствительные квантовые датчики-магнитометры и собранные данные о магнитном поле Земли с уникальными географическими характеристиками для обеспечения навигации в режиме реального времени. Затем с помощью алгоритмов ИИ обеспечивается сравнение характеристик земной коры с известными магнитными картами, что позволяет AQNav точно и оперативно определять местоположение.

В основе разработки знание о том, что магнитное поле Земли излучает постоянный пассивный, ориентированный вне сигнал, что делает его надёжным источником данных для навигации в пространстве в совокупности с другими инерциальными и другими источниками. Поскольку электронные квантовые датчики очень чувствительны, алгоритмы ИИ используются для улучшения соотношения сигнал/шум, что устраняет механические, электрические или дру-



Рис. 10. Пример карты Пири Рейса

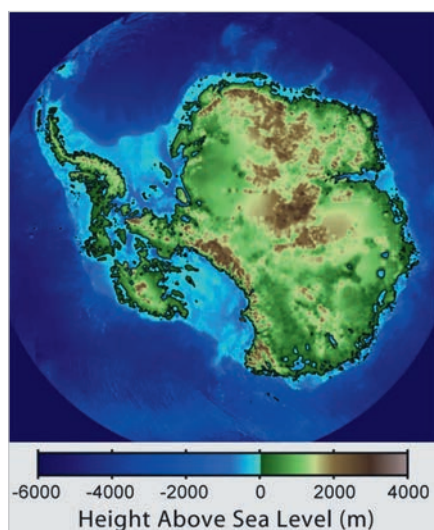


Рис. 11. Вариант карты с условной топографией, вид из космоса

гие помехи, которые могут повлиять на способность системы точно определять своё местоположение.

Квантовая система навигации AQNav работает в любых погодных условиях, может использоваться на воздушной, наземной и морской местности и завершила лётные испытания в 2023 году [9].

Тестовыми носителями AQNav в разное время выступали транспортный самолет С-17А, стратегический бомбардировщик В-52 и даже ударный дрон MQ-9. Для защиты объектов путём постановки помех РЭБ в таком случае нужны квантовые сенсоры, энергетические мощности и ресурсы поистине гигантских масштабов; это пока спорный с технической точки зрения вопрос. Квантовые сенсорные устройства широко применяются в РЭА кос-

мического назначения. В перспективе квантовая система навигации может использоваться для улучшения управления автономными транспортными средствами и использоваться под землёй или под водой, где нет сигналов GPS.

Геодезическая гравиметрия и другие средства

Есть ещё один рассматриваемый разработчиками РЭА элемент и способ ориентации в движении – геодезическая гравиметрия, основанная на измерении изменения ускорения свободного падения из-за локального распределения масс. В случае применения способа в комплексе с другими навигационными системами создание и постановка помехи затруднены, ибо ориентация навигационного оборудования идёт по ориентирам земных пород с помощью гравиметрической разведки, а породы стационарны, ландшафты не перемещаемы.

Практические успешные примеры применения средств РЭБ для нарушения навигации с использованием электронной картографии выглядят следующим образом. На условно низкой околоземной орбите несколько спутников одной группировки с помощью радиолокационных средств сканируют поверхность местности. На основе этих данных в автоматическом режиме формируется цифровая карта рельефа с указанием перепадов высот. Далее эта карта загружается в память навигационной системы летательного аппарата – будь то БПЛА, управляемые боеприпасы или иные виды высокоточного вооружения – и используется в полёте для ориентирования без необходимости обращения к спутниковому сигналу в реальном времени. В таком примере (рис. 9) единственное препятствие во время сканирования местности спутниковыми средствами для создания карты местности способом радиолокации – постановка шумовой помехи как простого примера РЭБ на частоте РЛС.

Противодействие спутниковому влиянию

Спутниковые группировки состоят из тысяч аппаратов, и орбиты их можно высчитать с высокой точностью. Это может понадобиться для организации его «засвечивания» с Земли – постановкой помехи над определённой территорией или с другого спутника.

Время пролёта всех спутников известно до долей секунды. Наземные средства РЭБ могут и дежурить, и приезжать в нужное время, и быть стационарными.

Главное в наше время – не вычислить время появления спутника над районом разведки, а чтобы расчёт РЭБ поставил в нужный момент помеху и автоматически ориентировал антенны-излучатели.

Геомагнитное поле не изменяется от высокочастотного электромагнитного поля. Геомагнитное пространство имеет неповторимый формат, и карты естественных магнитных полей Земли давно составлены – казалось бы, ничто не мешает ими воспользоваться. Есть обучаемые ИИ технологии распределения больших и масштабируемых данных. Первые карты адмирала Пири Рейса (рис. 10) 1513 года были построены относительно системных географических ориентиров, возможно, с опорой на геомагнитные параметры данных, тем не менее спустя 6 веков электронные средства магнитной навигации до сих пор не внедрены наряду с GPS-ориентированием. После завоевания к 1517 году Османской империей Египта адмирал Пири Рейс подарил карту мира султану Селиму I. На рис. 11 показан вариант карты с условной топографией, вид из космоса.

Детализация и масштабирование подобных карт пока требуют значительного по форм-фактору и весу, потребляемой мощности и особенностям обслуживания РЭА. Ещё две опасности некорректного применения геомагнитной навигации состоят в возможностях ослабления геомагнитного поля по мере удаления летящего объекта от земной поверхности и изменения поля ввиду постановки (намеренной или случайной) на земле объектов, обладающих магнитным значением, к примеру, разбитой бронетехники.

Примеры российских действующих систем

Одна из интересных, хоть и небезупречных с технической точки зрения, современных электронных систем – ЕСУ ТЗ «Созвездие-М» (рис. 12).

Единая система управления тактического звена (ЕСУ ТЗ) – это система с тактическими терминалами и абонентскими коммутаторами, разработанная воронежским концерном



Рис. 12. ЕСУ ТЗ «Созвездие-М».

Фото с сайта: https://topwar.ru/uploads/posts/2012-02/1330325993_05.jpeg

«Созвездие», которая предназначена для реализации концепции сетевых действий: объединения участников акции в единую информационно-разведывательную сеть. У каждого участника свой электронный планшет с картой местности и определения координат. Предполагалось, что наличие такой системы даёт превосходство над противником в скорости обмена разведывательной информацией и упрощает коммуникацию между различными частями задействованных сил. ЕСУ ТЗ состоит из 11 активных подсистем, управляющих подразделениями радиоэлектронной борьбы, артиллерией, ПВО, инженерным и материально-техническим обеспечением, а также единой информационной сети, где интегрированы различные виды связи, в том числе радиорелейная, тропосферная, цифровая. Система обеспечивает связь с беспилотниками и другими средствами разведки, взаимодействие в реальном времени разных видов и родов войск [6]. Индивидуальный тактический терминал модели ТТ-6.5 представлен на рис. 13.

В начале декабря 2024 года стало известно о решении Индии заключить с Россией договор на покупку усовершенствованной радиолокационной системы (РЛС) раннего предупреждения «Воронеж» с дальностью действия более 8000 км. Сумма сделки оценивается в \$4 млрд [8].

Семейство РЛС «Воронеж» (рис. 14) состоит из комплексов метрового («Воронеж-М», «Воронеж-ВП»), дециметрового («Воронеж-ДМ») и сантиметрового («Воронеж-СМ») диапазонов волн. В состав платформы входят приёмопередающая установка с цифровой антенной решёткой, быстровозводимое здание для личного состава и несколько контейнеров с радиоэлек-



Рис. 13. Индивидуальный тактический терминал модели ТТ-6.5

тронным оборудованием. Конструкция позволяет при необходимости быстро модернизировать систему в ходе эксплуатации. Производителем РЛС является АО «Концерн воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» [7]. Благодаря широкому диапазону действия радиолокационная система обеспечит раннее предупреждение о потенциальных угрозах.

Примерно 60% компонентов системы «Воронеж» будут производиться в Индии, а готовая станция будет смонтирована в Читрадурге (штат Карнатака).

Выводы

Одним из путей преодоления недостатков радиоэлектронных систем может быть возврат в том или ином виде к ориентации по геофизическим (магнитным) полям. Такой приём предполагает немало выгод даже в XXI веке. Во-первых, из-за точности позиционирования объекта, уже достижимой в значениях 1–2 метра. Кроме того, подавить и засорить постановкой помехи с помощью РЭБ системы навигации, основанную на данных естественных полей Земли, непросто. Навигационные комплексы, работающие по магнитному полю планеты, отличаются высокой помехоустойчивостью.

Несмотря на удобство радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) геомагнитной навигации, принципы которой, кстати, были открыты задолго до появления космической навигации, эта система всё ещё имеет ряд недостатков. Тем не менее карта естественных магнитных полей Земли была составлена давно, и геомагнитная навигация может эффективно использоваться в составе современных электронных навигационных комплексов.



Рис. 14. Участок фазированной решётки антенны РЛС «Воронеж-М»

Литература

1. Геомагнитная навигация: российская РЭБ как двигатель мирового прогресса. URL: <https://topwar.ru/255261-geofizicheskaja-navigacija-rossijskaja-rjeb-kak-dvigatel-mirovogo-progressa.html>.
2. Кашкаров А.П. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС. М.: ДМК-Пресс, 2017. 96 с.
3. Кашкаров А.П. Электронные устройства для глушения беспроводных сигналов (GSM, Wi-Fi, GPS и некоторых радиотелефонов). М.: ДМК Пресс, 2016. 96 с.
4. От 60 до 80% гражданских предприятий установили системы защиты от дронов. URL: <https://www.dk.ru/news/237220817>.
5. Простое объяснение работы системы глушения БПЛА. URL: https://overclockers.ru/blog/Hardware_inc/show/133339/Ekspert-na-pal-cah-obyasnil-kak-rabotajut-anti-dronovye-umnye-sistemy.
6. Тумбарцев М. Единая система управления тактического звена. URL: <https://anna-news.info/edinaya-sistema-upravleniya-takticheskogo-zvena-na-rossijskih-tankah/>.
7. India, Russia set to sign USD 4-billion deal for advanced radar system. URL: <https://www.indiatoday.in/india/story/india-russia-all-set-for-usd-4-billion-deal-for-advanced-radar-system-2646849-2024-12-09>.
8. Russian Jamming Is a Real Threat to Military Aircraft—But America's New Quantum Tech Can Defeat It. URL: <https://www.popularmechanics.com/military/aviation/a62085402/magnetic-navigation-aircraft/>.
9. Uelch K. SandboxAQ launches navigation system to counter GPS spoofing, jamming. URL: <https://breakingdefense.com/2024/06/sandboxaq-launches-navigation-system-to-counter-gps-spoofing-jamming/>.

