

Раздвигая горизонты

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

*"Меня ведь не рубли на гонку завели,
Меня просили: "Миг не проворонь ты!
Узнай, а есть предел там,
На краю Земли?
И можно ли раздвинуть горизонты?"*

(В. Высоцкий. "Горизонт")

Наускопия как предвидение

Прелюдия этой истории произошла почти за 250 лет до нашего времени на острове Иль-де-Франс (ныне Маврикий). Её героем стал Этьен Боттино, который, согласно "Биографическому словарю маврикийцев" (изданному в г. Порт-Луи, 1955 г.), родился в 1739 г. во французском местечке Шантосо, а умер на Маврикии 17 мая 1813 г. В 1762 г. на борту одного из судов Королевского флота Франции Этьену пришла в голову идея, будто бы движущиеся корабли должны производить в атмосфере определённый эффект. Через год он прибыл на Иль-де-Франс, где годом позже получил должность инженера. Остров отличался чистым небом в большей мере, чем в Европе, поэтому в пределах видимости. В общем, всё было готово для подтверждения гипотезы, и Этьен начал свои опыты по наускопии, как он назвал своё умение. Через полгода он настолько натренировался, что даже стал заключать пари о том, как без подзорной трубы предсказать за два-три дня появление на горизонте любого судна.

Выигрыш в пари — вещь неплохая, но открытие обладало большим потенциалом для морского дела, да и хотелось бы большего. В 1780 г. Боттино сообщил о своих способностях морскому министру Франции маршалу де Кастри. Маршал велел в течение двух лет регистрировать все наблюдения Боттино. В целом за 1778 г. и 1782 г. тот предсказал приход 575 судов за четыре дня до их появления в пределах видимости. Губернатор Маврикия имел свои виды на "открытие", но за раскрытие своего секрета Боттино запросил у него 100 тыс. ливров и ежегодное пособие в 1200 ливров. Однако губернатор поступил как политик и вместо испрошенных денег вручил Боттино рекомендательное письмо и отправил его во Францию. За время плавания в Европу Этьен не раз удивил команду и пассажиров, угадав появление 27 встречных судов, и неоднократно заявлял, что может определять близость земли, скрытой за горизонтом. А однажды предупредил капитана, что до земли, не видимой невостребованным глазом, осталось совсем немного. Углубившись в карты и расчёты, капитан обнаружил там ошибку, которая чуть не стала для его судна роковой.

В июле 1784 г. Боттино прибыл во Францию, однако аудиенции у министра ему добиться не удалось. Его хотели пригласить в Лондон, но тоже что-то не заладилось. Впрочем, хорошо, что он вообще остался жив во времена грянувшей Французской революции. В июне 1793 г. Этьен вернулся на Маврикий. Известно, что одного человека он обучил своей технологии, и у этого человека кое-что получалось. Впрочем, о сущности своих методов Этьен Боттино высказывался весьма туманно: "Судно, приближающееся к берегу, производит на атмосферу определённое воздействие, и в результате приближение его можно выявить опытным глазом, прежде чем корабль достигнет пределов видимости. Моим предсказаниям благоприятствовали чистое небо и ясная атмосфера, которые господствуют большую часть года на Иль-де-Франс. Я пробыл на острове шесть месяцев, пока не убедился в своём открытии, и оставалось только набраться опыта, чтобы наускопия стала подлинной наукой".

ЗГ РЛС

Однако подлинной наукой наускопия так и не стала. Но через 200 лет её знамя подхватили загоризонтные радиолокационные станции (ЗГ РЛС или OTHR — Over-The-Horizon Radar), способные "видеть" на расстояниях в тысячи километров. Их принцип действия отличается от традиционных РЛС.

В настоящее время все существующие беспроводные системы связи и радиолокации используют электромагнитные волны, распространяющиеся в свободном трёхмерном пространстве прямолинейно. Их называют пространственными или объёмными волнами. Энергия объёмной волны уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния от него. Эти два фактора принципиально ограничивают дальность обнаружения обычным СВЧ-радиолокатором целей вблизи поверхности Земли расстояниями в пределах прямой видимости, т. е. линией горизонта или зоной прямой радиовидимости. Мощные РЛС способны отслеживать цели на огромных дальностях и высотах, в том числе и в космосе. Но не на малых высотах — зона прямой радиовидимости ограничивается всего лишь десятками километров. Размещение РЛС на возвышенностях и мачтовых устрой-

вах, конечно, позволяет расширить радиогоризонт. Но всё равно лишь на дальность до 100 км.

Приподнять РЛС выше могут самолёты дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО). Но у них тоже есть существенные недостатки. Мощность сигнала, качество приёма и обработки отражённых сигналов ограничены массой аппаратуры, которую способны поднять в воздух самолёт. Кроме того, самолёт ДРЛО уязвим для наземных средств радиоэлектронной борьбы и различных средств поражения. В общем, всё это и дорого, и рискованно.

Сама идея загоризонтной локации не нова. В 1947 г. научным сотрудником НИИ-16 Николаем Ивановичем Кабановым впервые в мире была выдвинута идея раннего (загоризонтного) обнаружения самолётов в КВ-диапазоне волн на удалении до 3000 км. В основе идеи лежало использование эффекта отражения радиоволн от ионосферы для загоризонтного обнаружения целей. Высота ионизированных слоёв атмосферы, от которых отражается луч РЛС, составляет от 70 до 300 км. При одном отражении, с учётом кривизны земного шара, луч упадёт на земную поверхность как раз на расстоянии до 3000 км. Станции, построенные в расчёте на такой процесс, называются односкачковыми. Если же хочется "посмотреть" ещё дальше, требуются многоскачковые РЛС (двух-, трёхскачковые).

В последние годы возрос интерес специалистов (в том числе и специалистов по ЗГ РЛС) к так называемым многопозиционным РЛС, которые представляют собой систему из нескольких взаимодействующих передатчиков и приёмников, разнесённых в пространстве. Простейшая многопозиционная РЛС, состоящая из одного передатчика и одного приёмника, называется статической. Поэтому приёмная часть ЗГ РЛС может находиться довольно далеко от излучающей. Принципы построения многопозиционных РЛС были известны ещё на заре радиолокации, однако некоторые технические проблемы, например, обеспечение передачи данных для синхронизации передатчиков и приёмников, не нашли в те годы удовлетворительного решения. Поэтому дальнейшее развитие радиолокации пошло по пути совершенствования однопозиционных систем.

ВНЗ

Как гласят официальные документы, возвратно-наклонное ионосферное зондирование — это наклонное ионосферное зондирование, при котором принимаются отражённые или рассеянные в обратном направлении от поверхности Земли в каком-либо районе или от ионосферы радиосигналы, излучённые из этого же пункта. Собственно, излучаемые антенной радиопередатчика волны отражаются от ионосферы и попадают на Землю. На земной поверхности всегда имеются значительные неровности (холмы, деревья, строения), поэтому не вся энергия волны отражается зеркально, часть её рассеивается в разных



направлениях. При этом некоторые из рассеянных лучей вновь отражаются от ионосферы и возвращаются на Землю, а какая-то доля энергии радиоволны попадает обратно в то место, где находится радиопередающее устройство.

Радиолюбители хорошо знают, что связь на коротких волнах подвержена частым нарушениям, возникающим совершенно неожиданно. Для работы ЗГ РЛС это плохо, но этот недостаток можно минимизировать, подбирая рабочую частоту. Иначе говоря, рассеянные отражения от земной поверхности можно использовать для определения частот, на которых следует работать (к примеру, для связи) в данное время. Для этого перед началом сеанса передачи несколько минут посылают сигнал, промодулированный импульсами. Оператор на специальном осциллографе, горизонтальная развёртка которого проградуирована в километрах, наблюдает за возвратно-рассеянным импульсом. Само присутствие сигнала на осциллографе указывает на то, что верхняя граница максимальных применимых частот не превышена. По уровню рассеянного сигнала можно судить о напряжённости электрического поля в месте приёма, а по шкале расстояний определить, облучается ли нужная область территории. Изменяя плавно рабочую частоту передатчика и отмечая расстояние до ближайшего края отражённого импульса, строят так называемую дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ), по которой можно выбрать оптимальную рабочую частоту. Такой метод определения рабочей частоты и называется возвратно-наклонным зондированием (ВНЗ).

Принципиальный недостаток ЗГ РЛС ВНЗ — наличие "мёртвых" зон, "невидимых" для радара, протяжённостью несколько тысяч километров. Они "освещают" лишь небольшую площадь размерами 50 км² на удалении в 3000 км, а весь интервал до 3000 км остаётся для них невидимым. Изменение частоты не спасает положения. То есть в данном случае возможности пространственных электромагнитных волн и сформированного из них прямого радиолуча исчерпаны и нужны принципиально новые подходы: например, использовать поверхностные электромагнитные волны (ПЭВ).

ПЭВ

ЗГ РЛС, использующие эффект поверхностной электромагнитной волны (Ground Wave), на самом деле к истинно поверхностным (двумерным) электромагнитным волнам никакого отношения не имеют. В них используются обычные пространственные волны. Термин поверхностная используется только потому, что радиолуч прижат к Земле и как бы стелется над её поверхностью. Это так называемый "земной луч", давно и хорошо известный в радиофизике. За счёт дифракции и преломления в приземном пространстве дальность действия РЛС (в том числе над водой) может быть повышена до 200...400 км. При этом длина передающих и принимающих антенн достигает нескольких кило-

метров, а стоимость систем — порядка миллиарда долларов. Такие РЛС работают на частотах от 3 до 18 МГц и часто выполняются в виде бистатического радара.

Существование ПЭВ следует из уравнений Максвелла для проводящей среды с соответствующими граничными условиями. Волны могут возбуждаться на поверхности раздела проводящей среды с диэлектриком: Земли или океана с воздухом, ионосферы с атмосферой. При распространении вдоль поверхности эти двумерные волны следуют за её кривизной и ослабляются обратно пропорционально расстоянию от источника. По третьей координате (высоте) они экспоненциально затухают, так что вся энергия волны сосредоточена в тонком приповерхностном слое. Эти волны существуют в широком диапазоне частот, вплоть до оптических.

Хотя ПЭВ известны более ста лет, до сих пор они полностью не изучены. Их теория была разработана в начале XX века немецкими теоретиками Зоммерфельдом и Ценником. Однако тогда ни в одном из натуральных экспериментов, проведённых в разных странах, ПЭВ не были обнаружены, что послужило основанием для утверждения о принципиальной невозможности их существования. К середине XX века исследователи уже потеряли интерес к ПЭВ, но их возрождение произошло в 60—70-е годы, когда в России и за рубежом появились многочисленные теоретические работы и были получены экспериментальные доказательства их существования. ПЭВ сверхвысоких частот были обнаружены и исследованы в лабораторных условиях в полупроводниках, на океанской воде, газовой плазме и металлах, наблюдались они и в естественных условиях.

Решаемые задачи

С помощью ЗГ РЛС ВНЗ в мирное время возможно решение следующих задач:

— ведение непрерывной разведки и контроль порядка использования воздушного пространства, морских и прибрежных акваторий;

— мониторинг воздушных и морских трасс для обеспечения безопасности движения;

— мониторинг состояния воздушной и морской обстановки, обнаружение метеорологических неоднородностей, влияющих на организацию воздушного движения и судоходство;

— информационное обеспечение поисково-спасательных работ и определение районов терпящих бедствие судов и самолётов.

В военное время у ЗГ РЛС ВНЗ есть свои задачи:

— обнаружение и получение информации для заблаговременного предупреждения высшего военно-политического руководства страны о начале удара средствами воздушно-космического нападения противника;

— контроль за перемещением корабельных и авиационных ударных групп, а также отдельных судов за линией радиогоризонта;

— мониторинг воздушной и космической обстановки и обнаружение возможных пусков крылатых и баллистических ракет;

— обеспечение боевых действий вооружённых сил государства при проведении операций на континентальных театрах военных действий, в прибрежных и морских зонах;

— обнаружение неоднородностей в атмосфере и космосе (обнаружение ядерных взрывов, прогноз и контроль радиационной обстановки и пр.).

В свою очередь, ЗГ РЛС ПЭВ может решить следующие задачи:

— дальняя загоризонтная радиолокация, поскольку ПЭВ огибает поверхность Земли, и последняя не является препятствием для её распространения. Расходимость луча радиолокатора на ПЭВ значительно меньше, чем на объёмных (земном луче), поэтому можно ожидать, что в декаметровом диапазоне радиоволн дальность действия загоризонтного локатора значительно возрастет;

— обнаружение низколетящих целей на высотах менее 100 м. Для радиолокатора ПЭВ вероятность обнаружения цели возрастает с приближением цели к поверхности. Такой радиолокатор перекрывает "мёртвую" зону обычных локаторов в области малых высот;

— обнаружение электродинамических аномалий воды, источником которых могут являться, например, физические поля подводных лодок. Кроме того, он может быть использован в целях навигации, для проводки судов в стеснённых условиях, обнаружения кромок ледовых полей, мониторинга океанской поверхности и пр.;

— дистанционный контроль за состоянием поверхности океана, в том числе 200-мильных эксклюзивных экономических зон, а также для изучения метеорологической и океанографической обстановки.

Истоки

После ВОВ в Мытищах в соответствии с НИР "Веер" была построена опытная установка ЗГ РЛС, но обнаружить цели за горизонтом из-за неразрешимых технических трудностей Н. И. Кабанову в то время так и не удалось. Поэтому установилось мнение, что обнаружить цели за горизонтом на фоне мощных отражений от Земли невозможно, и соответствующая НИР была завершена в 1949 г. В 1958 г. работы по загоризонтной радиолокации в СССР возобновились. В ходе экспериментов была доказана принципиальная возможность загоризонтного обнаружения самолётов на дальности одного скачка (3000 км) и стартующих баллистических ракет на дальности двух скачков (6000 км).

Практическая реализация загоризонтной локации в СССР связана с именем главного конструктора радиорелейных линий, лауреата Государственной премии СССР Ефима Семёновича Штырена. Независимо от Кабанова, в конце 1950-х годов он сделал такое же предложение для обнаружения самолётов на дальностях 1000...3000 км. Ефим Штырен, его ближайший помощник и единомышленник Василий Александрович

вич Шамшин (ставший впоследствии министром связи СССР), молодые учёные Эфир Иванович Шустов, Борис Самойлович Кукис, Владимир Андреевич Корадо и другие теоретически обосновали возможность создания мощного коротковолнового загоризонтного радара. Они разработали научный отчёт "Дуга", названный в честь поверхности Земли.

1 января 1961 г. был представлен отчёт по НИР "Дуга", в котором фиксировались результаты расчётов и экспериментальных исследований по отражающим поверхностям самолётов и ракет, а также высотного следа последних, и предложен метод выделения слабого сигнала от цели на фоне мощных отражений от земной поверхности. Комиссия, рассмотрев отчёт, дала работе положительную оценку и рекомендовала подтвердить теоретически обоснованную возможность обнаружения прямыми экспериментами.

Отчёт одобрили военные и послали на проверку в Академию наук СССР. А там его забраковали и сказали, что, мол, учёные зря потратили время на бесперспективное дело. Ведь Кабанов уже доказал невозможность загоризонтной радиолокации. Однако в конце 50-х СССР и США активно развивали ракетно-ядерное вооружение, и руководство СССР забеспокоилось, когда некий американский учёный сумел коротковолновым локатором обнаружить ракету на большой дальности. Это означало серьёзное военное преимущество. Тут и вспомнили про группу учёных с их "Дугой". Для СССР защита от ракетно-ядерного нападения была стратегической задачей. Составилось специальное заседание комиссии АН СССР. Члены комиссии выяснили, что группа Штырена выдвинула абсолютно новую, не как у Кабанова, идею загоризонтной радиолокации. В итоге было предложено Штырену и его команде провести экспериментальные исследования. Так началась история боевой загоризонтной системы обнаружения.

Начало

Неуклонное совершенствование баллистических ракет (БР), увеличение их количества у вероятного противника и прохладные отношения между США и СССР привели к появлению реальной угрозы ракетного нападения на Советский Союз. Руководство партии и страны давало себе отчёт в этом, поэтому 15 ноября 1962 г. были подписаны постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О создании системы обнаружения и целеуказания системы ИС, средств предупреждения о ракетном нападении и экспериментального комплекса средств сверхдальнего обнаружения запусков баллистических ракет, ядерных взрывов и самолётов за пределами горизонта" и "О создании отечественной службы контроля космического пространства". Несомненно, этими постановлениями была открыта новая веха в области контроля воздушного и космического пространства.

В СССР был открыт ряд НИР и ОКР (опытно-конструкторских работ) по формированию и наращиванию группировки средств раннего обнаружения

стартующих межконтинентальных баллистических ракет (МБР). Одним из этих постановлений Научно-исследовательскому институту дальней радиосвязи — НИИ ДАР (Ф. В. Лукин, Е. С. Штырен) была поручена НИР "Дуга-1" по созданию загоризонтной РЛС.

В августе 1964 г. после обсуждения состояния и перспектив работ по НИР "Дуга-1" на научно-техническом совете НИИ ДАР с назначенным к тому времени главным инженером института Ф. А. Кузьминским было решено доложить этот вопрос министру радиопромышленности В. Д. Калмыкову. На совещании присутствовали первый заместитель министра Г. П. Казанский и академик А. Л. Минц. Казанский высказал осторожную точку зрения: "Ещё недостаточно исходных данных, надо продолжить экспериментальные работы". На это возразил Минц: "Мы в своё время начали проектировать синхрофазотрон, не имея задания и не зная, как к этому подойти. Нельзя противопоставлять научно-исследовательские и инженерно-конструкторские работы".

Выслушав все "за" и "против", Калмыков сказал: "Задача раннего предупреждения для нашей страны чрезвычайно важна. Мы не имеем близости континента США, чтобы обнаруживать МБР с момента их старта. Поэтому, несмотря на отсутствие многих исходных данных, необходимо идти на риск и создавать в Николаеве опытный образец ЗГ РЛС. Обязую вас разработать в 1965 г. аванпроект этого радиолокатора и приступить к разработке технической документации на аппаратуру, т. е. перейти к ОКР".

Комплекс работ по НИР "Дуга-1" НИИ ДАР выполнял на экспериментальной установке, которую смонтировали в районе г. Николаева (около с. Калиновка). В 1964 г. она впервые засекала ракету, стартовавшую с Байконура, на дальности 3000 км.

После завершения НИР "Дуга-1" в 1965 г. в НИИ ДАР приступили к следующему этапу работ. На том же месте, в г. Николаеве, с МО и Комиссией по военно-промышленным вопросам МБР.

30 июня 1965 г. Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР НИИ ДАР было поручено создать опытный сокращённый образец ЗГ РЛС "Дуга-2". В 1966 г. в районе г. Николаева начаты строительные работы опытного сокращённого образца ЗГ РЛС 5Н77 "Дуга-2". Приёмный центр радиолокационного узла находился около г. Николаева, передающий центр — около п. Луч на границе Николаевской и Херсонской областей.

А затем были построены и две боевые ЗГ РЛС "Дуга": одна — близ Чернобыля, другая — в районе г. Комсомольска-на-Амуре. Они должны были входить в систему предупреждения о ракетном нападении и были направлены на Северную Америку (только с разных сторон земного шара). Две "Дуги", дублируя друг друга, контролировали всю территорию США и обширные прилегающие пространства. Они должны были обнаруживать пуски баллистических ракет у самой поверхности Земли, чтобы ответный ядерный удар был нанесён как можно раньше. Дальность их действия достигала фантастических 10 тыс. км.

Она достигалась благодаря многократному отражению сигнала от ионосферы и поверхности Земли. Высота этой станции близ Чернобыля составляла около 150 м, длина — 800 м. Она потребляла такое количество электроэнергии, что специально была построена практически вплотную к чернобыльской АЭС.

Следует заметить, что многоскачковые ЗГ РЛС имели существенный недостаток — они не обладали точностью. "Дуги" не позволяли точно определять координаты целей из-за того, что луч несколько раз отражался от ионосферы. Дополнительные искажения в работу вносили хаотические возмущения ионосферы, которые тогда были слабо изучены, а компенсация этих искажений ещё не была отработана.

Строительство боевых "Дуг" было начато до завершения экспериментов на опытной станции в Николаеве, когда ещё не был накоплен достаточный опыт загоризонтной локации. К тому же уже в конце 80-х американцы построили в Норвегии, а затем и в Японии, и на Аляске мощные излучающие системы. Они должны были создавать нелинейные эффекты в ионосфере, мешающие нормальному функционированию ЗГ РЛС. С этими эффектами научились бороться, правда, не сразу.

Но тем не менее система раннего предупреждения обходилась надгоризонтными станциями, которые могли обнаруживать не взлетающие баллистические ракеты, а только их атакующие боевые блоки. Сегодня комплексное обнаружение пусков баллистических ракет в системе предупреждения о ракетном нападении выполняет космический эшелон в составе спутниковой группировки.

После событий 26 апреля 1986 г. станция в Чернобыле, проработавшая всего около года, была заморожена. Её эксплуатация была прекращена в связи с возможным повреждением электронного оборудования. В настоящий момент в "мёртвом" городе Припятя водят экскурсии, в том числе и к подножию РЛС, но забираться на 150-метровую высоту рискуют лишь единицы.

А ещё ЗГ РЛС "Дуга" успела оставить свой след в истории. В частности, она породила массу сказок о "психотронном излучении" и "климатическом оружии". Дело в том, что начало работы "странной советской радиостанции" в 1976 г. невозможно было не заметить. Мощность сигнала была такова, что он принимался обычными радиоприёмниками по всему миру и был слышен как пульсирующий стук, благодаря которому неведомая станция быстро получила прозвище "Русский дятел" (Russian Woodpecker). Вдобавок "Дуга" нарушала радиосвязь, поскольку работала на частотах, которые активно использовались по всему миру.

Так завершилась история первой отечественной ЗГ РЛС. Разумеется, она была не последней ни у нас, ни во всём мире. Поэтому наш рассказ на этом не заканчивается.

По материалам mirtayn.ru,
ruqrz.com, jre.cplire.ru, sdelanounas.ru,
army-news.ru, topwar.ru, vk.com