

Построение системы ионосферного обеспечения РЛС ЗГО для выбора рабочей частоты и увеличения точности определения координат цели.

С.В. Литвинов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»,
E-mail: Litvinov_S@mirea.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт прикладной геофизики имени академика Е.К.Федорова»*

В статье дается краткая справка развития отечественной загоризонтной радиолокации, приводится процедура выбора рабочей частоты. В статье дается обоснование необходимости непрерывного отслеживания параметров ионосферы и приводятся некоторые основные ее характеристики. Демонстрируются результаты экспериментального наклонного зондирования и проводится их анализ. Предложен оптимальный вариант системы ионосферного обеспечения, приведен пример успешной реализации такой системы на примере JORN (Австралия).

The article provides a brief reference to the development of domestic over-the-horizon radar, provides a procedure for selecting the operating frequency. The article substantiates the need for continuous monitoring of the ionosphere parameters and provides some of its main characteristics. The main methods for determining the characteristics of the ionosphere are briefly described. An optimal version of the ionospheric support system is proposed, an example of the successful implementation of such a system is given by the example of JORN (Australia).

Введение

Радиолокаторы загоризонтного обнаружения предназначены для сверхдальней разведки воздушного пространства. Они вскрывают намерения противника задолго до того, как его средства воздушного нападения сформируются и предпримут атаку или провокацию с пересечением границы. Интенсивное развитие средств загоризонтного обнаружения – объективный процесс, обусловленный их востребованностью в качестве высокоэффективного средства наблюдения за воздушной и надводной обстановкой на большом удалении. Загоризонтная радиолокация берет свое начало с момента обнаружения советским учёным и конструктором Николаем Кабановым возможности зондирующих лучей при длине волны 10-100м отразиться от ионосферы, облучить цель и возвратиться по тому же пути к РЛС. Именно он в 1946 году выдвинул идею раннего обнаружения самолётов в диапазоне коротких волн на удалении до 3000 километров.

Наибольшего успеха в освоении технологий загоризонтного обнаружения достигли такие страны как Россия, Соединенные Штаты Америки, Австралия, Франция, также определенные достижения наблюдаются в Великобритании и Китае. [1] Все радиолокаторы загоризонтного обнаружения используют диапазон коротких волн (3...30 МГц), однако в каждом конкретном случае диапазон рабочих частот корректируется в зависимости от технических особенностей.

Предназначением РЛС ЗГО является обнаружение целей на дальностях до 3000 км и определение их параметров, таких как класс цели, положение в пространстве, скорость и направление движения. Однако, в случае загоризонтного обнаружения присутствует еще одна неизвестная, а именно среда распространения – ионосфера. Для успешной задачи обнаружения необходимо решить множество задач, одной из которых является выбор рабочей частоты. Эту задачу можно разделить на несколько подзадач, которые необходимо решить последовательно: исключение запрещенных частот,

исключение занятых частот, подстройка частоты под дальность и направление обнаружения в зависимости от текущего состояния ионосферы.

В ответ на новые угрозы со стороны вероятного противника в СССР в 1960-е годы было решено создать систему предупреждения о ракетном нападении (СПРН). Один из ее эшелонов предполагалось создать из локаторов дальнего обнаружения. РЛС ЗГО 5Н32 «Дуга» - первая и единственная реально работавшая радиолокационная станция ионосферной (пространственной) волны в советский период – была изготовлена в количестве один опытный образец и две серийные единицы.

С распадом Советского Союза эксплуатировать оставшиеся ЗГ РЛС стало невозможно. Поэтому в начале 1990-х годов возникла мысль о создании следующего поколения РЛС ЗГО. Ввиду тяжелой экономической ситуации в стране основные работы по теме стали вестись с середины 1990-х годов, а основной рывок был сделан лишь в последние годы.

Департамент информации и массовых коммуникаций министерства обороны 1 декабря 2019 года сообщил о заступлении на боевое дежурство радиолокационной станции загоризонтного обнаружения «Контейнер». [2] С 1 декабря 2018 года РЛС находилась на опытно-боевом дежурстве, в 2019 году успешно прошла государственные испытания и поступила на вооружение. Радиолокатор обнаруживает массовый взлет авиации и крылатых ракет, определяет траекторные параметры отдельных целей, таких как самолеты тактической и стратегической авиации, гиперзвуковые летательные аппараты и самолеты, выполненные по технологии «Стелс». Информации об ионосферном обеспечении радиолокатора в открытых источниках обнаружить не удалось, однако есть основания предположить о наличии технологии возвратно-наклонного зондирования ионосферы. Такая технология была реализована в РЛС ВНЗ «Круг», которая работала в интересах РЛС ЗГО 5Н32 «Дуга» (г. Чернобыль), предшественника «Контейнера». Поскольку Минобороны не сообщает о наличии вынесенных позиций, то, вероятно, эта процедура реализуется в режиме работы самой РЛС на тех же аппаратных средствах, что и режим обнаружения.

Поиск рабочих каналов

Исключение запрещенных частот

Регулирование использования радиочастотного спектра в России регламентирует Федеральный закон от 07.07.2003 N 126-ФЗ (ред. от 06.06.2019) «О связи» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.11.2019). Распределение радиочастот среди пользователей определяется Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 сентября 2019 года № 1203-47 «Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации». Постановление определяет частоты, излучение на которых строго запрещено. Это выделенные каналы сухопутных, морских и воздушных вооруженных сил России, каналы радионавигации, радиоастрономии, космической связи и т.п.

Выделение полос радиочастот осуществляется Государственной комиссией по радиочастотам (ГКРЧ), а решение о присвоении радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС гражданского назначения принимается Роскомнадзором, при этом надзорным органом является ФГУП «Главный радиочастотный центр» (ФГУП «ГРЧЦ»). Таким образом, на основании законов и постановлений определяется перечень частот, которые исключаются из дальнейшего выбора рабочей частоты радиолокатора.

Исключение занятых частот

Изобретение Поповым метода беспроводной передачи информации посредством радиоволн в 1898 году положило начало развитию радиосредств. Упомянутые выше организации регламентирует работу радиосредств не только для определения запрещенных частот, но и для определения конкретных поддиапазонов для конкретных целей, таких как сотовые сети, портативные радиостанции и др. Для работы загоризонтной радиолокации пригоден диапазон коротких волн, в котором только и возможно отражение радиоволн от ионосферы. Однако, короткие волны применяются также и в других целях, например, радиосвязь, радиовещание и др. В целях соблюдения электромагнитной совместимости во многих радиосистемах применяется система поиска рабочих каналов.

Задача такой системы – проверить необходимый диапазон частот на наличие сигналов других источников, которым излучение РЛС может создать помеху, или которые сами могут служить помехой для станции. В зависимости от текущей необходимости это может быть проверка во всем доступном диапазоне рабочих частот или на небольшом диапазоне, выбранном для работы в конкретный момент времени.

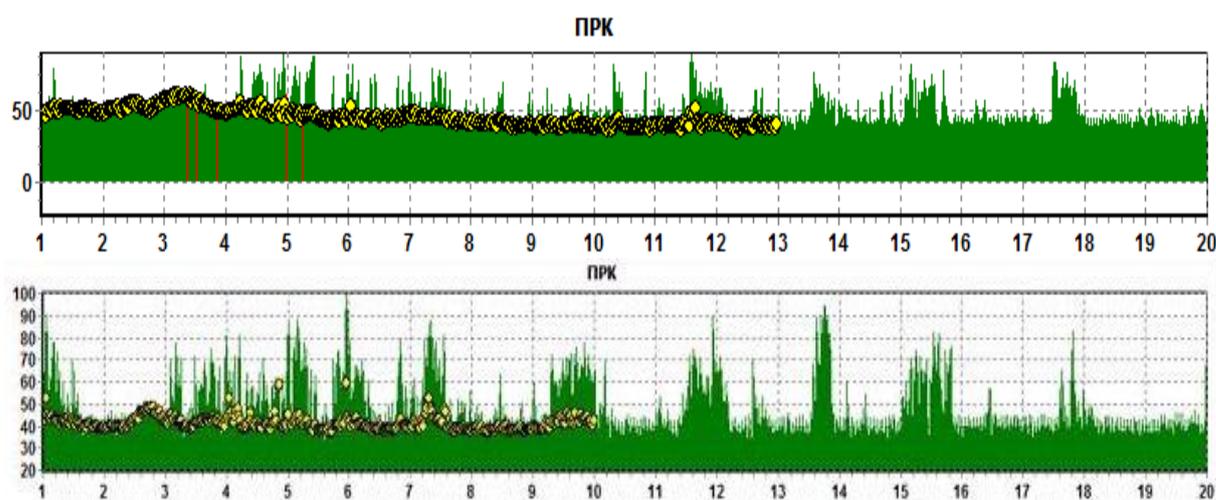


Рис. 1. Диаграмма распределения частот

После снятия панорамы, проводится анализ, т.е. сравнение принятых сигналов с заданным порогом, относительно которого делается вывод о наличии источника излучения либо о его отсутствии. Все частоты, на которых признается наличие сигнала исключаются из дальнейшей работы. Пример результата процедуры поиска рабочих каналов в диапазоне частот от 1 до 20 МГц приведен на рисунке 1.

Таким образом процедура поиска рабочих каналов позволяет определить список частот, которые в данный момент свободны и пригодны для использования.

Подстройка под гелиогеофизические условия

Выбор рабочей частоты не заканчивается исключением запрещенных и занятых поддиапазонов. На работу РЛС ЗГО оказывает немалое влияние ионосфера.

Для эффективной работы РЛС ЗГО важно иметь полученные в реальном масштабе времени характеристики трассы распространения, а также данные о занятости частотного диапазона. [3] Важно также, чтобы параметры внешней среды оптимальным образом согласовывались с параметрами РЛС. Для первичной оценки параметров ионосферы применяется региональная модель ионосферы, которая корректируется результатами вертикально-наклонного зондирования. Этот метод нашел широкое применение в РЛС загоризонтного обнаружения. Так, одно из возможных решений задачи согласования параметров РЛС (таких, как рабочая частота) с характеристиками трассы распространения (амплитудно-частотными и дальностно - частотными)

заключается во введении в состав РЛС специального тракта определения оптимального поддиапазона рабочих частот. Назначение этого тракта заключается в выборе поддиапазона частот, в котором затухание на трассе распространения минимально, с целью оптимизации работы тракта обнаружения полезного сигнала. Основная информация, которая используется в таком тракте, основывается на зависимости амплитуд сигналов ВЧЗ и величины задержек от рабочей частоты. Эти зависимости определяются амплитудно-частотными и дальностно - частотными характеристиками. Конструктивно данный тракт может представлять собой самостоятельную РЛС, входящую в состав основной РЛС, со своим возбудителем и отдельными приемными устройствами. Как, например, станция ВЧЗ «Круг», входившая в РЛС ЗГО 5Н32 «Дуга» (г. Чернобыль). Также этот тракт реализуется в режиме работы самой РЛС на тех же аппаратных средствах, что и обнаружение, этот режим осуществляет возвратно-наклонное зондирование и уточняет параметры работы РЛС.

Ионосферные исследования

В качестве первичной оценки состояния ионосферы возможно использовать статистический метод, например, модель ионосферы IRI-2016 (International Reference of Ionosphere – международная справочная модель ионосферы). Эта система позволяет провести моделирование и узнать параметры ионосферы в конкретном месте и в конкретное время. Она является глобальной медианной моделью ионосферы (т.е. позволяет строить долгосрочные прогнозы в любой точке земного шара). У нее довольно высокая точность долгосрочного прогноза при сравнении с реально полученными данными вертикального зондирования.

Наиболее полную и легко интерпретируемую информацию о состоянии ниже максимума электронной концентрации ионосферы дают средства вертикального радиозондирования ионосферы (ВЗ) [4]. Основным преимуществом метода ВЗ является возможность получения профиля электронной концентрации нижней ионосферы ($N(h)$ – профиля) из непосредственных измерений с использованием модельных представлений только о ненаблюдаемой при ВЗ впадине электронной концентрации между областями E и F. Точность получения $N(h)$ -профиля из данных ВЗ проверена многолетними исследованиями и является в отсутствие прямых ракетных измерений эталонной. Недостатком метода ВЗ, который компенсируется установкой сети станций, является локальность метода, а оперативное представление данных в мировой сети Inthernet позволяет использовать их для решения большинства прикладных задач.

Метод наклонного радиозондирования ионосферы, суть которого состоит в пространственном разnose приемной и передающей систем ионозонда и синхронизации процессов излучения и приема, дает принципиальную возможность прямого экспериментального исследования как прохождения радиоволн на фиксированной дальности, так и возможность оценки состояния ионосферы в области средней точки радиотрассы при односкачковом распространении. Если изменение частоты происходит в достаточно широком диапазоне, то результатом является ионограмма наклонного радиозондирования ионосферы, которая отражает частотную зависимость группового запаздывания сигналов, прошедших различными путями в ионосфере, в точке приема, т.е. модовую структуру волнового поля.

С 2011 года в России активно разворачивается сеть станций вертикального радиозондирования ионосферы, основу которых составляют новейшие ионозонды отечественного производства. На текущий момент развернуто десять таких станций по всей территории страны: от Калининграда до Камчатки. В течение всего срока работы в круглосуточном режиме ионозонды поставляют каждые 15 минут актуальную информацию о состоянии ионосферы. Проведенная модернизация и последующие

опыты показали, что эти ионозонды способны выполнять также наклонное зондирование. Этот результат был достигнут благодаря привязке всех отдельных станций к Системе Единого Времени (СЕВ), а также мощному излучателю (10 кВт), сигнал которого через боковые лепестки диаграммы направленности распространяется и может быть принят на расстоянии до 2000 км.

Следует отметить, что в России на регулярной основе исследование ионосферы методом наклонного зондирования осуществляется ААНИИ (Арктический и антарктический научно-исследовательский институт). Сеть, оснащенная канадскими ионозондами CADI и ЛЧМ-ионозондами отечественного производства, расположена преимущественно на берегу Северного ледовитого океана. Также на территории России размещены несколько дигизондов DPS-4 (производство США), входящие в мировую ионосферную сеть и проводящие только вертикальное зондирование ионосферы. Кроме того, отдельными организациями и инициативными группами проводятся разработки собственных средств зондирования ионосферы, к сожалению, не получившими широкого распространения.

Комплексное зондирование ионосферы

Автору была предоставлена возможность провести эксперимент по наклонному зондированию ионосферы на аппаратуре сети контроля ионосферы Росгидромета. Всего на данный момент развернуто десять таких ионозондов: Троицк, Ростов-на-Дону, Электроугли, Подкаменная Тунгуска, Магадан, Калининград, Салехард, Новосибирск, Хабаровск, Петропавловск-Камчатский. Поскольку задача сетевого ионозонда непрерывно поставлять результаты зондирования заинтересованным абонентам, то его отключение не представляется возможным. Возможность провести эксперимент появляется во время сервисного обслуживания и в тех случаях, когда это не мешает его штатной работе. В результате получен совершенно уникальный результат, выраженный в том, что следы наклонного зондирования накладываются на следы вертикального отражения (т.н. комплексное зондирование) [5]. Проведен эксперимент на трассах всех секторов, а также на трассе Москва-Салехард. [6] В каждом случае наблюдается устойчивый прием сигнала и отображение результатов в виде следов наклонного зондирования (НЗ). На рисунке 2 представлены результаты наклонного зондирования по трассам: (а) – Троицк – Калининград, (б) – Ростов-на-Дону – Электроугли, (в) – Магадан – Петропавловск-Камчатский, (г) – Троицк – Салехард.

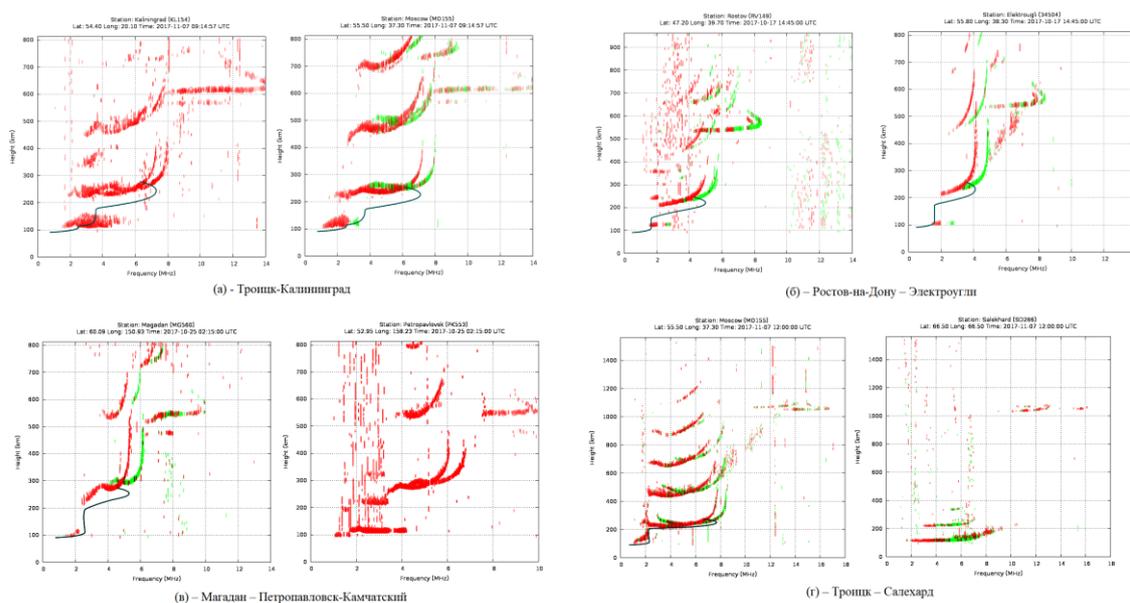


Рис. 2. Результаты эксперимента по наклонному зондированию ионосферы

Система ионосферного обеспечения

Задача определения оптимальной системы ионосферного обеспечения радиолокаторов пространственной волны остается актуальной и на сегодняшний день. [7] В качестве примера успешной реализации этой системы можно привести систему загоризонтного обнаружения Австралии JORN (Jindalee Operational Radar Network). Кроме трех основных РЛС ЗГО «Jindalee» в систему входят 12 собственных вертикально-наклонных ионозондов, 5 ионозондов Департамента Обороны и 7 приемопередатчиков. Все это позволяет контролировать состояние ионосферы в области отражения радиосигналов. И, внося соответствующую поправку, более точно определять координаты воздушных и надводных целей. Расположение основных элементов сети JORN показано на рисунке 3. К особенностям системы JORN следует отнести характер работы РЛС Jindalee, обусловленную их взаимным размещением. Как видно из рисунка, зоны контроля трех РЛС во многом перекрываются. Именно из-за этого РЛС первого этапа JFAS, размещенная близ Алис Спрингс используется как станция для исследования ионосферы и испытаний новых технологий и алгоритмов.

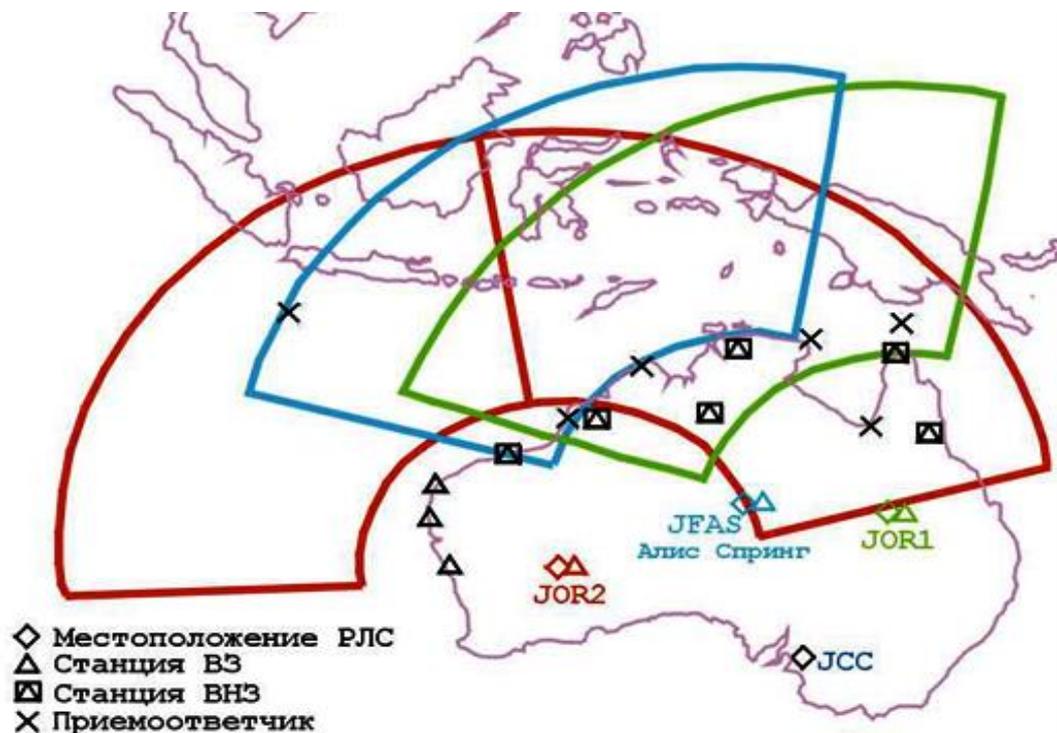


Рис. 3. Расположение РЛС «Jindalee» и ионозондов радиолокационной сети JORN

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в систему ионосферного обеспечения РЛС должны входить ионозонды вертикального зондирования с возможностью наклонного зондирования ионосферы. Такая система должна быть оптимальной и по технико-экономической составляющей. Для корректной работы РЛС необходима информация о параметрах ионосферы в зоне отражения радиоволн. Это позволит выбрать рабочую частоту, на которой сигнал наиболее эффективен на требуемой дальности, а точная величина действующей высоты отражающего слоя сведет к минимуму ошибку определения координат воздушной цели.

В идеальной системе вертикальные ионозонды в большом количестве размещаются в зоне отражения от ионосферы, а наклонные ионозонды в конструктивной зоне обзора. Однако размещение неограниченного количества вертикальных ионозондов в зоне отражения невозможно и по экономическим и по техническим соображениям, а

наклонные ионозонды в таком случае попадают на территорию других стран, что также делает невозможным их размещение.

В оптимальной системе ионосферного обеспечения РЛС ЗГО с зоной обзора по азимуту 60° минимально - достаточно четырех вертикально-наклонных ионозонда, размещение которых условно показано на рисунке 4. Анализ показал, что ионосфера в средних и низких широтах можно считать относительно неизменной на расстоянии примерно 500 км, т.н. зона ответственности ионозонда. Четыре вертикальных ионозонда размещенные по углам зоны отражения будут самыми информативными источниками, по актуальным данным которых корректируется региональная модель ионосферы. Наклонное зондирование между ионозондами дополнит достаточно достоверными данными о зонах между ними, а зондирование по трассе ионозонд-РЛС, хоть и не несет отдельной полезной информации также может быть использована для корректировки модели.

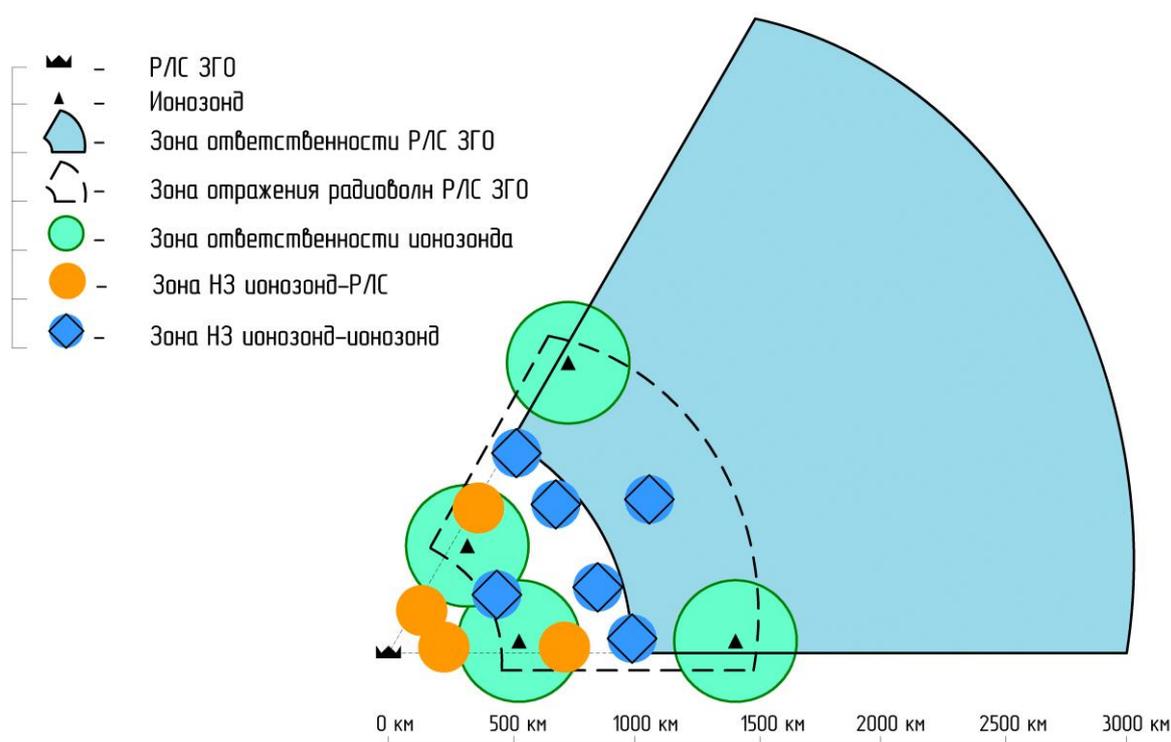


Рис. 4. Система ионосферного обеспечения

Определение условий распространения радиоволн

Проведенный обзор радиофизических методов ионосферных наблюдений свидетельствует о том, что определение параметров ионосферы и прогноз ионосферных возмущений остается серьезной и актуальной проблемой. Только в последнее время, в связи появлением средств космической томографии ионосферы, появилось общее понимание динамики изменения электронной концентрации в ионосфере, в тоже время недостаточны ясны для достоверного моделирования свойства ионосферных возмущений, отсутствуют статистически проверенные сведения о параметрах неоднородностей ионосферной плазмы, особенно о характеристиках их движения.

В России функции мониторинга гелиогеофизической обстановки распределены между Росгидрометом в лице ИПГ, отвечающего за мониторинг ионосферы и НИИ РАН (ИЗМИРАН, ИКИ, ИСЗФ СО РАН и др.), отвечающих за солнечную активность. Космические и наземные средства, измеряющие необходимые характеристики солнечной активности в НИИ РАН представлены слабо, по большей части информация

по СА берется в интернете с иностранных сайтов. Что касается ионозондов ИПГ, то есть вероятность, что они размещаются вдали от требуемой для РЛС ЗГО зоне контроля. Режим работы этих ионозондов строго регламентирован – раз в 15 минут станции выходят на вертикальное зондирование ионосферы и, спустя небольшое время обработки полученной информации, поставляет данные в открытом виде в сеть «Интернет». Такие данные могут служить хорошим подспорьем в деле корректировки глобальной модели ионосферы. Также сейчас на ионозондах «Парус-А» этой сети проводятся успешные эксперименты по наклонному зондированию, что также перспективно с точки зрения использования ионосферы. Регулярно работающие линии наклонного зондирования есть в приполярном регионе в составе ААНИИ.

Учитывая уже существующие ионосферные станции, имеет смысл создавать автономные средства мониторинга для конкретных РЛС ЗГО. Это следует из показателей технико-экономических критериев (стоимости и качества измерительных средств), необходимости обеспечения регулярной работы с заданным темпом и нужном формате. В перспективе всю информацию, получаемую этими комплексами геофизических средств можно объединить в центральном пункте управления, и использовать всеми заинтересованными радиоэлектронными и оптическими средствами МО РФ.

Рассмотрим структуру построения и состав Системы определения условий распространения радиоволн, представленную на рисунке 5. В состав средств измерения параметров ионосферы включены ионозонды вертикального и наклонного зондирования, размещаемые согласно разработанной системе ионосферного обеспечения там, где позволяет территория и возможности его обслуживания. Внешние гелиогеофизические данные, необходимые для работы глобальной динамической модели ионосферы поступают от официальных служб контроля ионосферы, магнитосферы и Солнца, ответственных за обеспечение входной информацией по солнечной и магнитной активности модели ионосферы. Кроме данных по Солнцу для прогноза используются данные магнитометров, информация с которых также являются предвестниками начала возмущений в ионосфере. Помимо геофизических данных, снимаемых с системы, входящей в состав РЛС ЗГО, различные дополнительные геофизические данные могут поступать от других ионозондов с регионов зоны контроля или ближайших к ним.

При использовании метода ВНЗ в качестве основного для определения оптимальных рабочих частот изделия, привязки дальности по лучу к дальности по земле необходимо повысить достоверность данного метода как путем совершенствования программно-аппаратурного тракта, так и используя возможности диагностики реального состояния радиотрассы по данным Системы определения условий РРВ.

По ионосферным геофизическим данным, совместно с анализом радиофизических сигналов ВНЗ:

- производится коррекция глобальной среднеширотной модели ионосферы,
- набирается статистика,
- разрабатывается методика краткосрочного прогноза условий распространения декаметровых сигналов для заданных зон контроля,
- разрабатывается прогноз начала и окончания магнитоионосферных возмущений, влияющих на функционирование РЛС ЗГО,
- повышается достоверность метода ВНЗ в сложной гелиогеофизической обстановке.

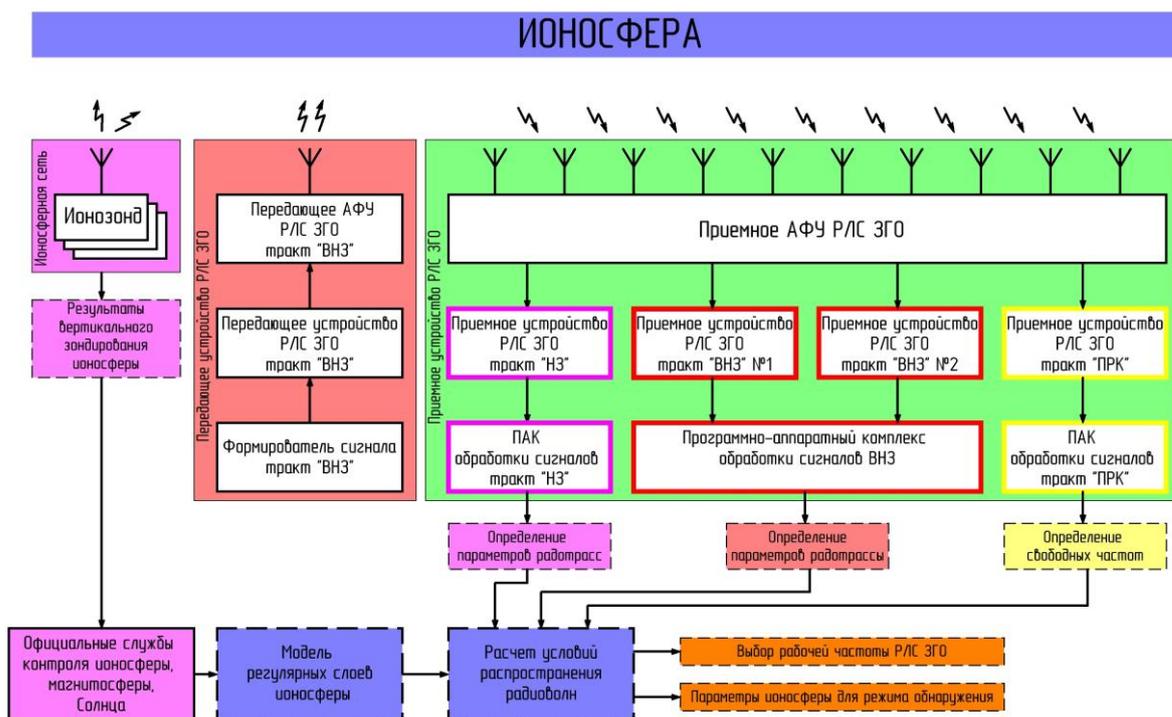


Рис.5. Система определения условий распространения радиоволн

Заключение

Собственная система ионосферного обеспечения РЛС ЗГО остро необходима, поскольку зона контроля радиолокатора распространяется далеко от размещения самой станции, существующие гелиогеофизические датчики не всегда отвечают требованиям, а поставка гелиогеофизических данных от официальных служб связана с определенными сложностями.

Такая система включает в себя ионозонды вертикального и наклонного зондирования, программно-аппаратный комплекс и др., точное размещение вынесенных позиций определяется в каждом конкретном случае.

Основное назначение этой системы – повысить достоверность и точность работы загоризонтной радиолокационной станции в различных гелиогеофизических условиях.

Уже существующие РЛС загоризонтного обнаружения, в отсутствие собственной системы ионосферного обеспечения, могут привлекать для определения параметров ионосферы ионосферные станции Росгидромета, которые, по имеющейся информации, попадают в зону интереса РЛС.

Литература

1. С.В. Литвинов, Д.С. Мудрик «Сравнительный анализ отечественных и зарубежных РЛС ЗГО», Тезисы докладов XVI молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии» - 2018. ПАО «Радиофизика», г. Москва. С.55-57.
2. «Расчеты РЛС загоризонтного обнаружения «Контейнер» заступили на боевое дежурство в 2019 году», Департамент информации и массовых коммуникаций Министерства обороны Российской Федерации, 01.12.2019. (дата обращения 30.04.2020) URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12264487
3. Ю.М. Власов, И.А. Глинкин, С.В. Литвинов «Использование комплекса зондирования ионосферы для пеленгации источников радиосигналов КВ-диапазона»,

Актуальные вопросы развития систем и средств воздушно-космической обороны. Сборник докладов Восьмой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Москва, 26 октября 2017 года / под общей редакцией канд. техн. наук Н.Э. Ненартовича. – М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2018. – С. 184 – 191.

4. Г.В.Гивишвили, И.В.Крашенинников, Л.Н.Лещенко, Ю.М.Власов, А.В.Кузьмин «Ионозонд «Парус-А»: функциональные возможности и перспективы» Гелиофизические Исследования выпуск 4, 68–74, 2013.

5. Н.Г. Котонаева, В.И. Денисова, Е.А. Паньшин, С.В, Литвинов, И.А. Глинкин «Результаты эксперимента по комплексному зондирование ионосферы на ионозондах серии «Парус-А» ионосферной сети Росгидромета», Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. –Муром: Изд.-полиграфический центр МИВЛГУ, 2019. С 326 - 335.

6. С.В. Литвинов, Д.С. Мудрик «Результаты исследования ионосферы Земли методом наклонного зондирования», Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 16-18 апреля 2019г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019, С. 134-144.

7. А.О. Щирый «О перспективах использования некоторых современных достижений ионосферного радиозондирования при воссоздании ЗГ РЛС эшелона СПРН», Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 16-18 апреля 2019г.): в 6 т. / Воронежский государственный университет; АО «Концерн «Созвездие». – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019, С. 226-234.

8. Руководство по ионосферным, магнитным и гелиогеофизическим наблюдениям, Москва ФГБУ «ИПГ» 2012, 270 с.

9. Основы загоризонтной радиолокации / В.а. Алебастров, Э.Ш. Гойхман, И.М. Заморин и др.; Под ред. А.А. Колосова. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.