

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2021»

Структура построения приемного комплекса РЛС загоризонтного обнаружения

С.В. Литвинов¹, И.А. Глинкин², Ю.М. Власов²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»,
E-mail: Litvinov_S@mirea.ru

²ОАО «Научно-производственный комплекс «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи», E-mail: IGlinkin@niidar.ru

В статье приводится информация о задачах системы загоризонтного обнаружения, дается краткая справка о РЛС ЗГО нашей страны. Анализируется зарубежный опыт построения систем загоризонтного обнаружения. Приводятся задачи и варианты построения приемной части таких радиолокаторов, а именно: размещение аппаратуры под антенной мачтой, концентрирование аппаратуры в центре АФУ и распределение аппаратуры в КУНГах вдоль антенного полотна. Делается вывод о необходимости продолжения работы в данном направлении.

The structure of the construction of a radar receiver for over-the-horizon detection

S.V.Litvinov¹, I.A.Glinkin², Yu.M.Vlasov²

¹Federal State Budget Education Institution of Higher Education «MIREA - Russian Technological University», E-mail: Litvinov_S@mirea.ru

²Join Stock Company «Distant Radiocommunication Scientific Research Institute», E-mail: IGlinkin@niidar.ru

The article provides information on the tasks of the over-the-horizon detection system, provides a brief information on over-the-horizon radars of Russia. The foreign experience of building over-the-horizon detection systems is analyzed. The needs and options for constructing the receiving part of radars are shown, such as: placing equipment under the antenna pole, collecting equipment in the center, distributing equipment in containers along the antenna canvas. It is necessary to continue work in this direction.

Keywords: OTHR, over-the-horizon radar, receiver, JORN, NOSTRADAMUS

Введение

Сплошное радиолокационное поле над территорией страны необходимо для организации и ведения разведки за действиями средств воздушно-космического нападения противника (СВН) в мирное время, вскрытия момента начала удара СВН противника при начале войны и обеспечения информацией управления и целеуказания огневых средств противовоздушной обороны (ПВО) при ведении боевых действий по отражению удара СВН противника.

Важную роль в этом играют средства раннего предупреждения, такие как радиолокационные станции загоризонтного обнаружения (РЛС ЗГО). Задачи, возложенные на них уникальны, их решение другими средствами затруднительно, а в некоторых случаях невозможно в первую очередь из-за дальности действия - до 3000 км! Они имеют возможность обнаруживать воздушные объекты различного класса, в том числе самолеты, выполненные по технологии «Стелс», вертолеты, стратегические беспилотные летательные аппараты, крылатые ракеты, а так же гиперзвуковые

летательные аппараты. РЛС ЗГО способны ежедневно обеспечивать обнаружение и сопровождение около 10000 воздушных объектов, причём как на высотах до 100 км, так и низколетящие цели у самой земли или поверхности моря.

Радиолокаторы загоризонтного обнаружения нашей страны

Первая экспериментальная РЛС ЗГО «Дуга-Н» появилась в нашей стране в начале 60-х годов в районе города Николаев. А затем были построены и две боевые РЛС ЗГО 5Н32 «Дуга» — одна близ Чернобыля (в начале 70-х), другая в районе Комсомольска-на-Амуре (в начале 80-х). Они были направлены на Северную Америку с разных сторон земного шара и по плану должны были входить в систему предупреждения о ракетном нападении. Две РЛС ЗГО «Дуга», дублируя друг друга, контролировали всю территорию США и обширные прилегающие пространства (рисунок 1).^{*} По задумке создателей они должны были обнаруживать пуски баллистических ракет у самой поверхности Земли, чтобы увеличить время на принятия решения об ответном ударе. Благодаря многократному отражению сигнала от ионосферы и поверхности Земли дальность их действия достигала 6000 км.

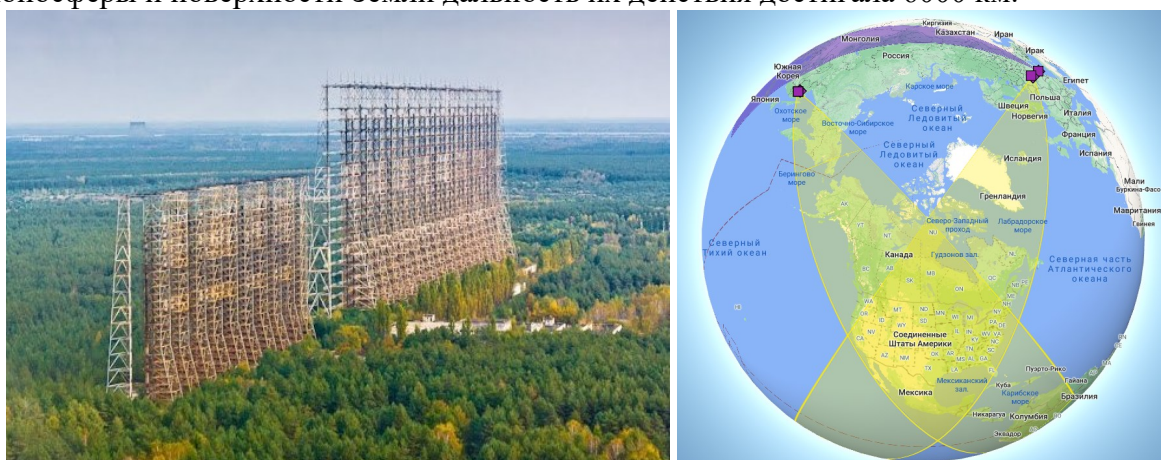


Рис. 1. Приемные антенны РЛС ЗГО 5Н32 «Дуга» (слева) и зона обзора (справа)

В противовес дальности действия такие «многоскачковые» ЗГРЛС имели существенный недостаток - отсутствие возможности точно определить координаты целей. Нерегулярные возмущения ионосферы, слабо изученные в то время вносили дополнительные искажения в работу, а их компенсация еще не была отработана. Боевые 5Н32 разработали и начали возводить до завершения экспериментальной работы опытной станции Дуга-Н. Также существенные проблемы работе РЛС ЗГО создавали мощные ионосферные исследовательские излучающие системы, которые создавали нелинейные эффекты в ионосфере. Такие системы были установлены в США на Аляске (HIPAS и HAARP) и в Пуэрто-Рико (недалеко от обсерватории Аресибо), в Норвегии близ города Тромсё (EISCAT) и на архипелаге Шпицберген (SPEAR). Аналогичные научные проекты проводились и в нашей стране: ионосферная обсерватория «УРАН-1» в 5 км от Змиева Харьковской области, радиотехническая система «Горизонт» близ Душанбе, Многофункциональный радиокomплекс «Сура» неподалеку от города Васильсурска Нижегородской области. РЛС «Дуга» так и не были приняты на вооружение, работа Дуги-1 возле Чернобыля была остановлена 26 апреля 1986 года в связи с аварией на ЧАЭС, а Дуга-2 возле Комсомольска-на-Амуре снята с дежурства 14 ноября 1989 года в связи с изменением международной обстановки, позднее закрыта и демонтирована.

Антенны РЛС «Дуга» построены по принципу фазированной антенной решётки (ФАР). Поскольку одна антенна не могла перекрыть такую широкую полосу частот,

^{*} Здесь и далее зоны обзора РЛС ЗГО показаны условно.

весь диапазон разбит на два поддиапазона, и антенных решёток поставлено тоже две: низкочастотная антенна с высотой мачт 150 метров, длина 500 метров и высокочастотная антенна порядка 250 метров в длину и до 100 метров в высоту.

Второй загоризонтной системой, уже гораздо более совершенной, стала станция ГП-120 «Волна», возведенная на Дальнем Востоке рядом с городом Находка. Предназначение РЛС - контроль надводной и воздушной обстановки в ближней 200-мильной зоне поверхностным лучом и радиолокационной разведке в дальней зоне до 3000 км пространственным лучом (рисунок 2). Радиолокатор работает на одном ионосферном скачке, что позволило увеличить точность получаемых данных о цели по сравнению с возможностями станций предыдущего поколения. Разработки начались в 1982 году, а уже в 1986 на РЛС начали проводить эксперименты по обнаружению надводных объектов и в 1992 году станция заступила на боевое дежурство. На протяжении всего этого времени аппаратура совершенствовалась и модернизировалась. В РЛС «Волна» АФУ состоит из 256 антенных мачт, высотой 35 метров и апертурой 1200 метров.

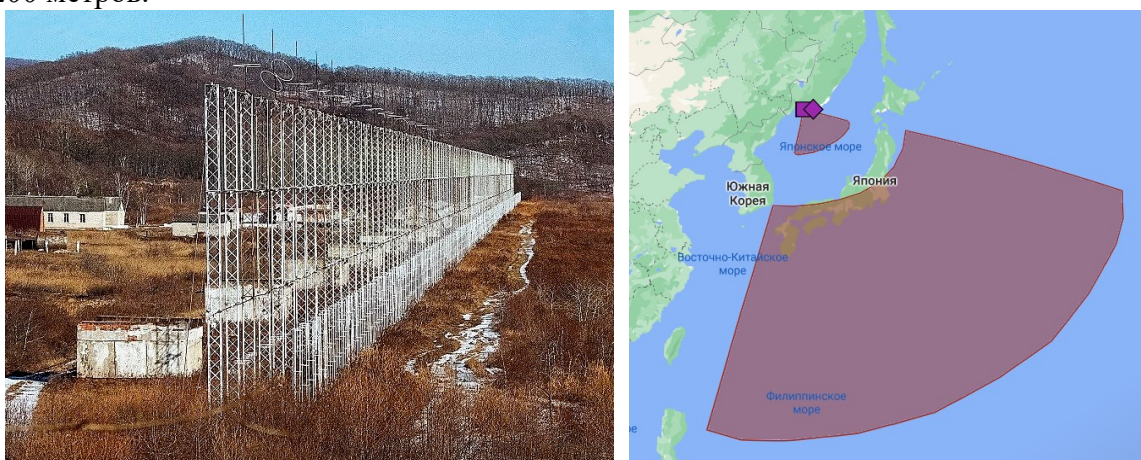


Рис. 2. Приемные антенны РЛС ЗГО ГП-120 «Волна» (слева) и зона обзора (справа)

Продолжением систем загоризонтного обнаружения в нашей стране является РЛС ЗГО 29Б6 «Контейнер» (рисунок 3), которая считается развитием РЛС «Волна». В отличие от предшественника в РЛС «Контейнер» всего 144 мачты высотой 34 метра и апертурой 1300 метров. Начало разработки датируется 1995 годом, выход в эфир и старт испытаний, начавшийся в 2002 году, завершился в 2013 году постановкой РЛС «Контейнер» на опытно-боевое дежурство. Полученный опыт загоризонтного обнаружения и модернизация аппаратуры позволили радиолокатору 1 декабря 2018 года выйти на государственные испытания, которые станция в 2019 году успешно прошла. По сообщению Департамента информации и массовых коммуникаций Министерства обороны 1 декабря 2019 года радиолокационная станция загоризонтного обнаружения «Контейнер» заступила на боевое дежурство. [1]



Рис. 3. Приемные антенны РЛС ЗГО «Контейнер» (слева) и зона обзора (справа)

«Контейнер» выполнен по бистатической системе: РЛС имеет два антенных поля - передающее и приемное. Предназначена для слежения за воздушной обстановкой в зоне ответственности, вскрытия характера действий боевой авиации, оповещения о начале воздушного нападения и передачи необходимой информации средствам ПВО для перехвата воздушных целей. В задачи локатора входит: обнаружение, сопровождение и классификация аэродинамических летательных аппаратов (самолетов); слежение за повседневной деятельностью военной и гражданской авиации; обнаружение потенциально опасных целей; обнаружение массового и группового взлета авиации; вскрытие перебросок боевой авиации; определение траекторных параметров отдельных целей и передачи их потребителям; вскрытие рассредоточения авиации на запасные аэродромы.

Зарубежный опыт

Вместе с тем, целесообразно рассмотреть уникальные в своем роде зарубежные загоризонтные РЛС. Наибольшего успеха в освоении технологий загоризонтного обнаружения достигли такие страны как Соединенные Штаты Америки, Австралия, Франция, Россия, также определенные достижения наблюдаются в Великобритании и Китае. [2] Доступная открытая информация о загоризонтных системах иностранных государств, позволяет сделать вывод о том что РЛС Великобритании и Китая показывают стандартные характеристики: дальность обнаружения от 1000 до 3000 км в азимутальном секторе 60° по азимуту в диапазоне рабочих частот 5...30 МГц. Несмотря на многолетний опыт США, по имеющейся информации, системы загоризонтного обнаружения этой страны не нашли широкого применения. На настоящий момент известные РЛС MADRE (Magnetic-Drum Radar Equipment), WARF (Wide Aperture Research Facility), AN/FPS-95, AN/FPS-112 демонтированы в силу морального и аппаратного устаревания, система CONUS, состоящая из двух узлов локаторов AN/FPS-118, также либо демонтирована, либо (по другой информации) законсервирована. Продолжает работу система ROTHF, построенная на базе радиолокаторов AN/TPS-71. На фоне этого тем более заслуживает внимания РЛС ЗГО Франции и Австралии.

Разработка первого экспериментального образца РЛС ЗГО проекта Jindalee началась в 1974 году. [3] В течении двух лет (1976-1978) на РЛС проводились исследовательские работы. Сразу после этого начались работы по созданию серийного радиолокатора. В итоге первые данные появились в 1982 году, затем, в 1983 году был обнаружен первый корабль, а уже в 1984 году первый захват и проводка воздушной цели. В 1986 году было принято решение о создании системы JORN, основой которой являются две новые РЛС. В настоящее время в систему JORN входит две активные радиолокационные станции в Квинсленде и Западной Австралии, центр координации в Южной Австралии, семь приемоответчиков, двенадцать ионозондов. РЛС в Алис-Спрингс с собственной системой вертикальных и наклонных ионозондов используется в научных целях, однако может использоваться в качестве третьего радиолокатора системы. К слову, такое построение системы JORN позволяет увеличить точность определения координат цели за счет подстройки под текущую геофизическую обстановку. Основной отличительной особенностью австралийских РЛС является величина азимутального сектора обзора - 90° ! Достигается это за счет специальной конструкции антенного полотна приемной части: двойной ряд из 250 вертикальных монополей высотой 5,5 метров, апертурой 3 км позволяет формировать диаграмму направленности в широком диапазоне с высокой точностью (рисунок 4).

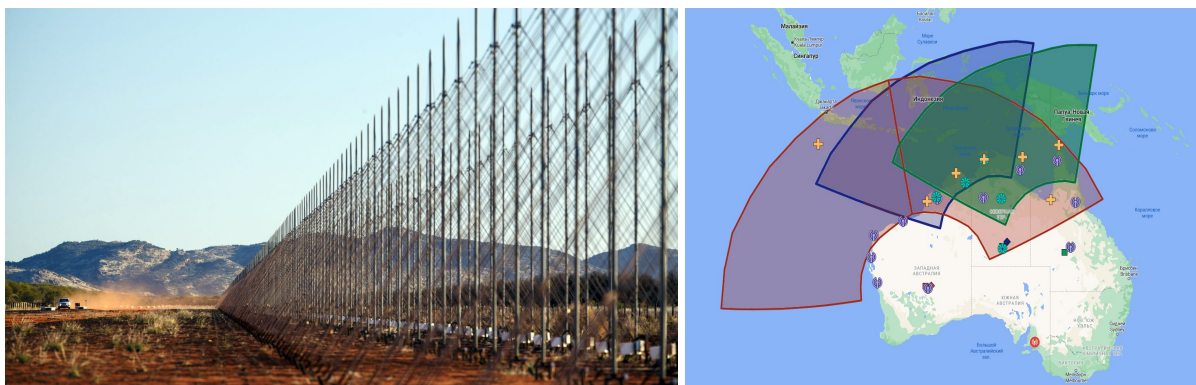


Рис. 4. Приемные антенны системы ЗГО JORN (слева) и зона обзора (справа)

Совершенно уникальный радиолокатор создан во Франции в 1990-х годах и получил название «NOSTRADAMUS» (NOuveau STranshorizon DEcametrique APpliquant les MEthodes UTilisees dans STUDIO). [4] Разработке этого радиолокатора предшествовало создание станции ВЧЗ STUDIO в 1968 году, а первые эксперименты по возвратно-наклонному зондированию ионосферы во Франции датируются еще 1961 годом.

РЛС ЗГО «NOSTRADAMUS» относится к моностатическому типу РЛС, работает в диапазоне частот 6-20 МГц и обладает круговым обзором по азимуту. Для реализации сектора обзора в 360° приемно-передающая антенная решетка реализована в виде звезды из трех плеч длиной 400м и шириной 80м, расположенных под углом 120 градусов. Такой сектор обзора удобен для Франции из-за ее размеров и географического положения - центр Европы. Расположение антенн NOSTRADAMUS и зона ответственности показаны на рисунке 5.

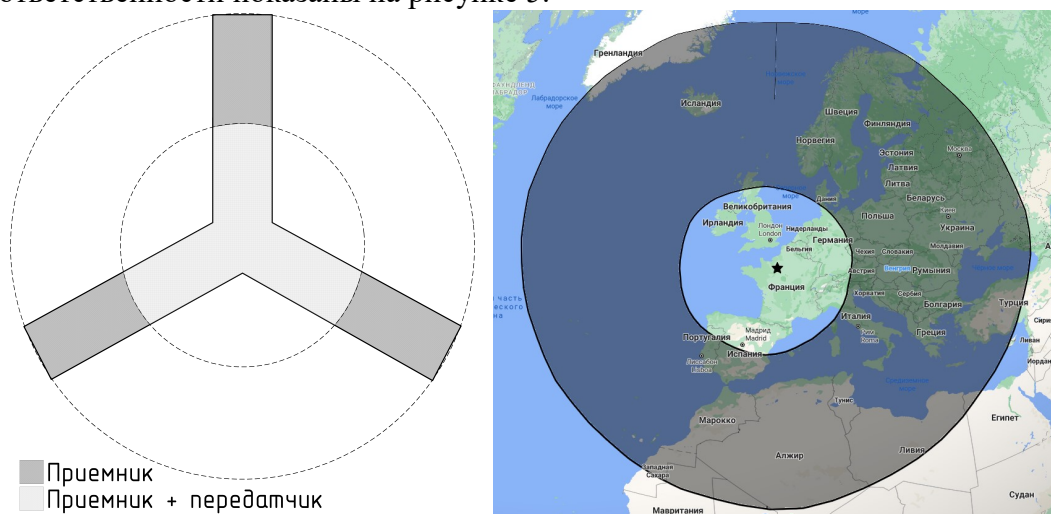


Рис. 5. Построение ФАР РЛС NOSTRADAMUS (слева) и зона обзора (справа)

Стандартным вариантом построения приемной фазированной антенной решетки является размещение нескольких сотен элементарных монополей на протяженности более километра вдоль линии, перпендикулярной направлению излучения сигнала. Исключением является приведенная выше ФАР французской системы, которая обеспечивает круговой обзор по азимуту. Очевидно, что для обеспечения кругового обзора возможно построение антенного полотна путем размещения простейших вибраторов по кругу. Именно так реализована фазированная антенная решетка станции возвратно-наклонного зондирования «Круг» - вспомогательной станции для РЛС

«Дуга». [5] Такое размещение антенных модулей позволяет направлять ДН на 360° по азимуту.

В зависимости от решаемых задач, формируется облик приемного комплекса, в том числе антенно-фидерного устройства (АФУ). Применение в РЛС ЗГО цифрового метода формирования диаграммы направленности приемного тракта требует использования в структуре построения радиолокатора большого количества вынесенных устройств приема и первичной обработки радиолокационной информации, поступающей с приемного АФУ. [6]

Вместе с тем, применение таких устройств, расположенных вдоль антенного полотна протяженности более 1 км, диктует необходимость применения аппаратуры сопряжения, которая должна обеспечить синхронизацию работы разнесенных приемников, съем данных и ввод их для последующей обработки на вычислительные устройства приемного комплекса изделия. Кроме того такая аппаратура должна обеспечивать стационарную синхронизацию и временную привязку передающего и приемного комплексов изделия.

Антенно-фидерное устройство состоит из нескольких десятков отдельных приемных каналов, включающих мачту с элементарным горизонтальным вибратором и соответствующим базовым приемником, информация с которых собирается в командном центре. Таким образом общая структура приемного канала выглядит следующим образом: антенная мачта - приемник - центр управления.

Размещение аппаратуры под антенной

Очевидно, что одним из вариантов является установка аппаратуры компактно под каждой антенной мачтой (рисунок 6). [7] Именно такое решение применено в австралийской РЛС Jindalee, входящей в систему JORN. Такое решение ведет к ряду ограничений: необходимо отдельно обслуживать каждый приемный элемент, запасные части, инструменты и принадлежности (ЗИП) хранятся отдельно. Самой большой проблемой в таком случае становится синхронизация и калибровка каждого приемного канала. Для этих целей необходимо создавать точные оптические системы связи и синхронизации. Это исключает ВЧ-кабели, что ведёт к увеличению мощности передаваемого калибровочного сигнала, и увеличивает точность синхронизации, при этом возрастает и конечная стоимость.

Отдельным вопросом, требующим внимание, является соблюдение температурных режимов работы аппаратуры. В климатических условиях Австралии эта задача, судя по всему, решается установкой вентиляторов, в случае реализации такого варианта в России необходимо будет дополнить тепловой установкой, что увеличивает габариты и сложность отдельного приемного элемента.

Похожий вариант реализован на французской РЛС NOSTRADAMUS. Здесь аппаратура размещается непосредственно под антенными элементами в тоннеле, что облегчает решение множества задач: соблюдение температурного режима работы аппаратуры, быстрый доступ и удобство обслуживания в любое время суток и года, фазирование антенных кабелей,

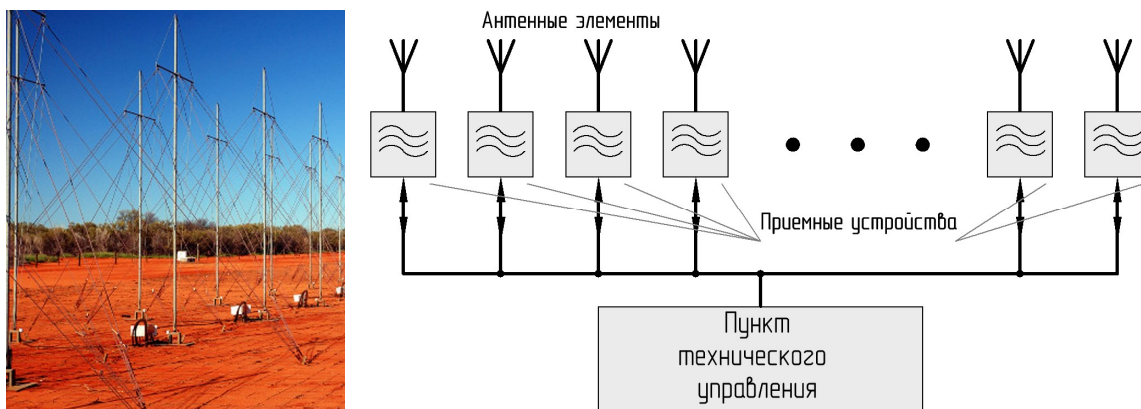


Рис. 6. Вариант построения приемной аппаратуры

Размещение аппаратуры в центре

Другим вариантом является размещение всей аппаратуры в одном помещении по центру антенного полотна (рисунок 7). Это классическое решение для большинства РЛС, в том числе опытного варианта «Контейнера» - РЛС 29Б6. Из преимуществ следует отметить фактор близости всей функциональной аппаратуры, оперативности обслуживания и ремонта, отсутствие необходимости тянуть километровые кабели управления и синхронизации. В стационарных зданиях отсутствует проблема соблюдения температурных режимов и хранения ЗИП. Однако все это перевешивается одним недостатком - сложностью фазирования более сотни приемных кабелей от АФУ, длина которых также составляет до 1 км. В случае относительно малого раскрытия антенны (как, например в 5Н32 Дуга) такой вариант является оптимальным. Антенны Дуги состоят из двух литер (250 и 450 метров), в центре каждого сосредоточена приемная аппаратура.

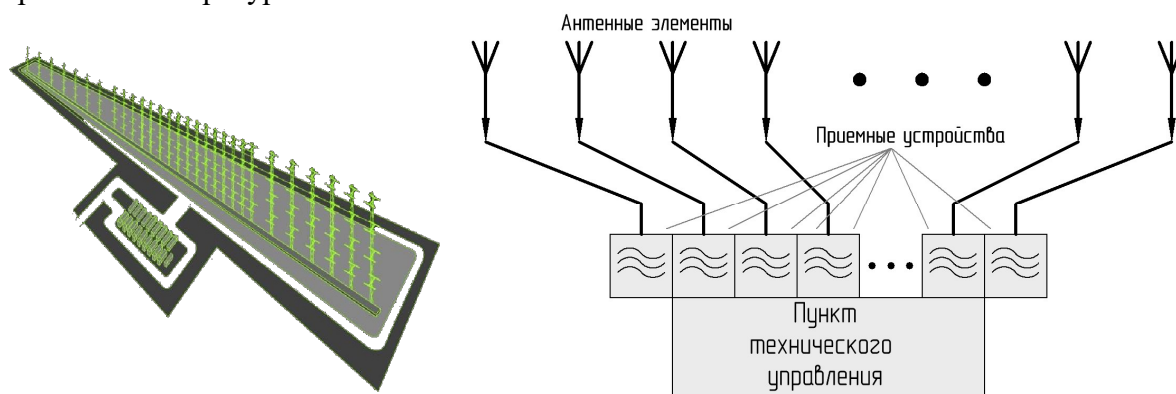


Рис. 7. Вариант построения приемной аппаратуры

Размещение аппаратуры вдоль полотна

По мнению авторов, оптимальным вариантом в данном случае является размещение вычислительной приёмной аппаратуры в КУНГах (контейнерах) непосредственно вблизи антенного полотна (рисунок 8). Такое решение удобно по ряду причин. Во-первых, размещённое в КУНГах оборудование удобнее настраивать и обслуживать, там же логично хранить запасные части, инструменты и принадлежности (ЗИП). Во-вторых в КУНГах проще поддерживать рабочую температуру, комбинируя кондиционер и тепловую пушку в зависимости от условий. В-третьих такое решение позволяет сократить длину кабелей, идущих от антенны до приёмного устройства, что в свою очередь повышает чувствительность аппаратуры и позволяет понизить разность фаз между приемными каналами. Такое решение улучшает качество диаграммы

направленности приёмной антенны. Однако при этом необходимо решить задачу управления и синхронизации аппаратуры в КУНГах.

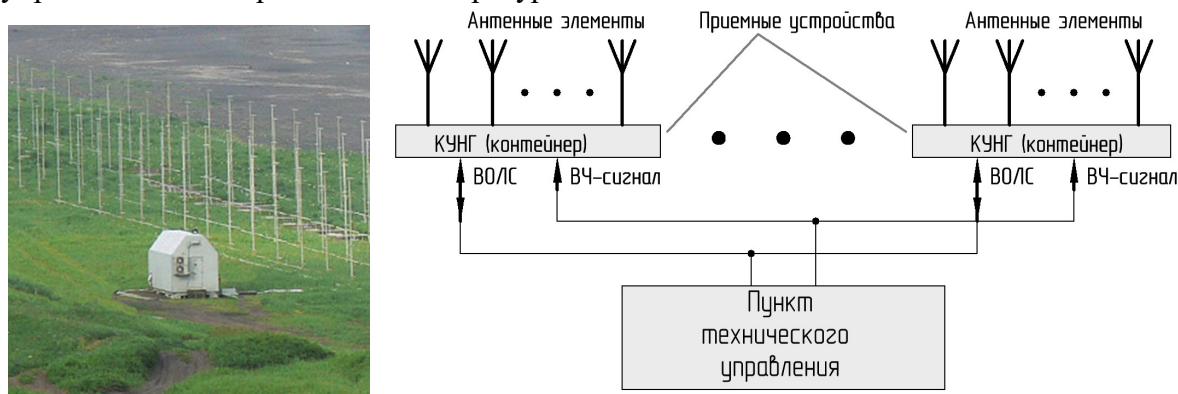


Рис. 8. Вариант построения приемной аппаратуры

Заключение

Основным недостатком РЛС ЗГО считается низкая точность определения параметров цели, при этом главной целью загоризонтного обнаружения является сам факт наличия цели. [8] Несмотря на это, загоризонтные радиолокаторы показали свою эффективность в системе раннего предупреждения. Исходя из географических условий страны по разному реализуют свои загоризонтные системы. Расположенная в центре Европы французская РЛС NOSTRADAMUS контролирует обстановку на 360° по азимуту. Отдаленная от большинства стран австралийская система JORN заинтересована в контроле воздушной и надводной обстановки в направлении Азии, каждая РЛС этой системы Jindalee способна изменять приемную ДН в азимуте 90°.

Применение в РЛС ЗГО цифрового метода формирования диаграммы направленности приемного тракта требует использования в структуре построения радара большого количества вынесенных устройств приема и первичной обработки радиолокационной информации, поступающей с приемного АФУ. Вместе с тем, применение таких устройств, расположенных вдоль антенного полотна протяженности около 1 км, диктует необходимость применения аппаратуры сопряжения, которая должна обеспечить синхронизацию работы разнесенных приемников, съем данных и ввод их для последующей обработки на вычислительные устройства приемного комплекса изделия. Кроме того такая аппаратура обеспечивает стационарную синхронизацию и временную привязку передающего и приемного комплексов изделия.

Литература

1. Департамент информации и массовых коммуникаций Министерства обороны Российской Федерации: Расчеты РЛС загоризонтного обнаружения «Контейнер» заступили на боевое дежурство в 2019 году, 01.12.2019 URL: https://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12264487
2. С.В. Литвинов, Д.С. Мудрик «Сравнительный анализ отечественных и зарубежных радиолокационных станций загоризонтного обнаружения», РТИ Системы ВКО - 2019: VII Всероссийская научно-техническая конференция: труды конференции / АО «РТИ», АО «РТИ им. ак. А.Л.Минца», ОАО «НПК «НИИДАР» - Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020 С. 220-232
3. Jindalee Over-the-horizon Radar, Nomination for Heritage Recognition, May 2016, p. 79.

4. V. Bazin, J.P. Molinié, J. Munoz, P. Dorey, S. Saillant, G. Auffray, V. Rannou, M. Lesturgie: A general presentation about the OTH-Radar NOSTRADAMUS. In: 2006 IEEE Conference on Radar, 2006, S. 634–638, ISBN 0-7803-9496-8.
5. С.В. Литвинов «Построение системы ионосферного обеспечения РЛС ЗГО для выбора рабочей частоты и увеличения точности определения координат цели», Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской открытой научной конференции. –Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020. С 307 - 316.
6. И.А. Глинкин, С.В. Литвинов, Д.С. Мудрик «Структура и алгоритм работы многоканального приемника для зондирования ионосферы, радиолокации и пеленгации», Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции (г. Воронеж, 29 сентября – 1 октября 2020 г.) : в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн “Созвездие”». – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2020 т. 6 С. 73-82
7. А.А. Кашеваров, С.В. Литвинов, И.А. Глинкин «Многоканальное цифровое приёмное устройство радиолокатора загоризонтного обнаружения», Тезисы докладов XVIII молодежной научно-технической конференции «Радиолокация и связь – перспективные технологии» - 2020. ПАО «Радиофизика», г. Москва. С.100-102.
8. S Litvinov 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1632 012021 DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1632/1/012021>