

АРХИТЕКТУРА АВТОНОМНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ SDR-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ В КВ-ДИАПАЗОНЕ

¹В.Ф. Грищенко, ²Н.Б. Зикирьяев, ²Т.В. Елеусов, ²А.А. Мукушев, ²Д.А. Ксенофонов

¹Институт ионосферы, Алматы, Республика Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан
nurzhan.zikiryaev@bk.ru

ARCHITECTURE OF AUTONOMOUS HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM BASED ON SDR TECHNOLOGIES FOR STUDYING THE IONOSPHERE IN HF RANGE

¹V.F. Grishchenko, ²N.B. Zikiryaev, ²T.V. Eleusov, ²A.A. Mukushev, ²D.A. Ksenofontov

¹Institute of Ionosphere, Almaty, Republic of Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan
nurzhan.zikiryaev@bk.ru

Аннотация. Рассмотрена архитектура аппаратно-программного комплекса для исследования строения ионосферы и использования ее параметров для ведомств и служб.

Ключевые слова: изучение ионосферы, SDR технологий, аппаратно-программный комплекс.

Abstract. The architecture of hardware and software for the study of the structure of the ionosphere and the use of its parameters for departments and services is Considered.

Keywords: ionosphere study, SDR technologies, hardware-software complex.

Ионосфера как среда, являющаяся частью околоземного космического пространства, занимает ключевое положение в системе параметров и процессов в околоземном космосе. Она представляет собой универсальный и уникально чувствительный элемент, реагирующий на широчайший спектр процессов, протекающих на Солнце, в межпланетном пространстве, в атмосфере, на земной поверхности и даже в литосфере Земли.

Важнейшим прикладным аспектом мониторинга состояния ионосферы является контроль над техническими средствами и системами, использующие электромагнитные волны или подверженные их влиянию, в частности средства связи, навигации и т. п. Это обстоятельство привлекает интерес потребителей ионосферной информации — организаций, связанных с выполнением оборонных и прикладных задач, учреждений, обеспечивающих данную космическую радиосвязь и навигацию, космические и прогностические службы.

Помимо исследований солнечно-земных связей, известны сведения о возмущении ионосферы, обусловленных [http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.aspx?idE=186]:

- комплексом ионосферных систем (HAARP), своим мощным излучением энергий, оказывает нарастающее воздействие;
- приближающимися землетрясениями (с заблаговременностью от семи до одних суток);
- наземными химическими и подземными ядерными взрывами;
- запусками и работой на орбите космической техники.

В настоящее время с целью оперативного контроля состояния ионосферы и совершенствования ионосферной службы на территории Республики Казахстан требуется разработка и создание автономного комплекса. В связи с этим на этапе разработки необходимо сформировать требования и на

основе их выбрать целесообразную архитектуру автономного аппаратно-программного комплекса. Исходя из опыта проектирования радиотехнических систем [Harris, 2012], представляется возможным реализовать комплекс на основе SDR технологий.

Основой работы автономного аппаратно-программного комплекса является резонансное отражение радиоволн от ионосферной плазмы. При этом используются радиоволны в диапазоне от 1 до 20 МГц, излучаемые радиоимпульсами длительностью около 100–150 мкс.

Измеряются временная задержка и амплитуда импульсов при их прохождении:

- от космического аппарата (КА) до ионосферы и обратно-внешнее зондирование;
- от Земли до ионосферы и обратно-вертикальное зондирование;
- от КА до наземной станции — прямое трансionoсферное зондирование;
- от Земли до КА — обратное трансionoсферное зондирование.

Используются также сигналы, отраженные от Земли — это двойное трансionoсферное зондирование.

Использование архитектуры автономного аппаратно-программного комплекса на основе SDR технологий предполагает отработку методики получения информации об электронной концентрации в ионосфере с высот расположения КА и выработку научно-практических рекомендаций по использованию этой информации в службе Казгидромета и других заинтересованных организаций и ведомств. Автономный аппаратно-программный комплекс должен проводить измерения непрерывно для обеспечения глобального и длительного по времени получения параметров ионосферы, с учетом ограничений на энергопотребление, электромагнитную совместимость, ресурс работы и т. д.

Конструктивно автономный аппаратно-программный комплекс предполагается выполнить в виде отдельных блоков:

- антенный модуль и приемо-передающий модуль;
- модуль управления и обработки информации на основе программируемых пользователем вентильных матриц (ППВМ).

Аппаратура автономного аппаратно-программного комплекса при проведении космических испытаний (КЭ) должна соответствовать следующим техническим характеристикам в таблице [MacDougall, 1995]:

Требуемые технические характеристики аппаратно-программного комплекса на основе SDR технологий

№	Параметры автономного аппаратно-программного комплекса	Диапазон, ед. изм.
1	Диапазон частот	1–20, МГц
2	Количество дискретных частотных точек	до 400
3	Шаг перестройки	50–100, кГц
4	Максимальная дальность	2000, км
5	Длительность посылки в каждой частотной точке	100–150, мкс
6	Длительность цикла измерений	6–10, с
7	Пространственное разрешение по высоте	10, км
8	Размах диполя передающей антенной системы	15, м
9	Диаметр рамочной приемной антенны	0,7, м

В предлагаемом проекте архитектура автономного аппаратно-программного комплекса на основе SDR технологий для изучения состояния ионосферы в КВ диапазоне представлена на рисунке, где: ПЭВМ — персональная электронно-вычислительная машина; ППВМ — программируемые пользователем вентильные матрицы; АЦП — аналогово-цифровой преобразователь; ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь; МШУ — малошумящий усилитель; ПУ — предварительный усилитель; УМ — усилитель мощности; ФЗЧ — фильтр зеркальной частоты; LAN — (сокращение от Local Area Network, с англ. — локальная вычислительная сеть).

Отраженный сигнал через приемную антенну поступает в МШУ, где усиливается с малым коэффициентом шума до необходимого уровня. В ФЗЧ, главной проблемой некачественной дискретизации в аналого-цифровом преобразователе является неправильная дискретизация аналогового сигнала, что приводит к тому, что высокочастотные его составляющие накладываются на низкочастотные, в результате чего восстановление сигнала во времени приводит к его искажениям. Таким образом, для корректной работы ФЗЧ, частота дискретизации должна быть достаточно высокой и сигнал должен быть надлежащим образом отфильтрован перед оцифровкой в ФЗЧ.

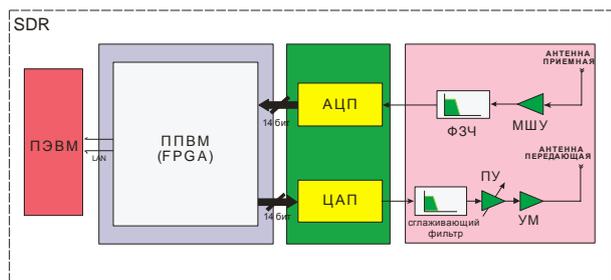


Рис. Вариант архитектуры автономного аппаратно-программного комплекса на основе SDR технологий

АЦП служит для преобразования входного аналогового сигнала в дискретный код. Преобразованный 14 битный код поступает по шине в ППВМ, где программируется путем изменения логики работы принципиальной схемы алгоритм работы ионозонда, от которого в конечном счете через локальную сеть информация поступает в ПЭВМ, где отражает параметры в виде графиков. ПЭВМ отвечает за ввод исходных параметров, обработку результатов и подстройку параметров системы в зависимости от полученных результатов. После в ППВМ формируется 14 битный код, который поступает в ЦАП, где происходит преобразование с цифрового кода в аналоговый сигнал. Имеющий дискретные значения имеют прямоугольную форму. Сглаживающий фильтр устраняет пульсации эффекта «зубчатости». УМ обеспечивает на выходе пиковую мощность. Далее сигнал поступает в передающую антенну.

В результате информация с космического ионозонда обеспечивает быстрое получение следующих данных:

- критической частоты, высоты максимума электронной концентрации, полутолщины внутренней ионосферы (включая случаи, когда измерения с поверхности Земли невозможны из-за полного поглощения радиоволн и других аналогичных явлений);
- пространственного распределения электронной концентрации ионосферы, недоступной при зондировании с поверхности Земли;
- пространственного распределения электронной концентрации внутренней ионосферы в модельном приближении;
- пространственного и временного распределения электромагнитных полей в околоземном космическом пространстве в указанном диапазоне частот;
- диагностика наличия и структуры одиночных ионосферных неоднородностей в ионосфере естественного и искусственного происхождения, а так же определение их параметров;
- количества электронов в столбе от уровня ионосферной станции до высоты КА (вариации этого параметра определяют качество радиосвязи на трассах «Земля–Космос» во всех диапазонах частот от f_oF2 до 30 ГГц и более);
- степени возмущенности ионосферы в текущий момент времени и статистических параметров случайных неоднородностей ионизации;
- горизонтальных градиентов электронной концентрации по всей толщине ионосферы.

Результаты исследования направлены на решение актуальных проблем активных экспериментов в околоземной космической плазме, оперативной глобальной диагностики ионосферы, распространения электромагнитных волн, динамики ионосферных структур, взаимодействия заряженных частиц с электромагнитными волнами. Предполагается проведение исследований работы бортового ионозонда на орбите с высотой вблизи максимума слоя F2 ионосферы. Кроме того, будут отработаны элементы службы мониторинга глобальной ионосферы, проведены исследования распространения электромагнитных и электростатических волн, ряда линейных и нелинейных физических процессов в плазме, крупномасштабных ионосферных структур, неодно-

родностей ионосферы, а также проведение исследований по возможностям прогноза ионосферных и сейсмических аномалий и взаимодействия ионосферной плазмы с пучками энергичных частиц. Ожидается также получение новых данных по ряду научно-технических вопросов, в том числе: по теории антенн и зондов, по участию экипажа космической станции в управлении экспериментом, и т. п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Координационный научно-технический совет (КНТС) по программам научно-прикладных исследований (НПИ) и экспериментов на пилотируемых космических комплексах. Эксперименты. Электронный ресурс URL: http://knts.tsniimash.ru/ru/site/Experiment_q.aspx?idE=186 (дата обращения: 26.04.2019).

Harris F., Venosa E., Chen X., Dick C. Band Edge Filters Perform Non Data-Aided Carrier and Timing Synchronisation of Software Defined Radio QAM Receivers // Proceedings of the 15th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), Taipei, September 2012. P. 271–275.

MacDougall J.W., Grant I.F., Shen X. The Canadian advanced digital ionosonde: design and results // World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Report UAG-104, Boulder, Colorado, USA. 1995. P. 21–27.