МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ФЕДЕРАЦИИ ФГБОУ

"ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

Реферат на тему:

Ионозонды их виды и особенности

Выполнил: Николаев А.Н.

Проверила: Борисова А.В.

Йошкар-Ола

Содержание

Введение

. Сеть ионозондов

. Принципы построения и использования современных бортовых ионозондов

. Вертикальное наземное радиозондирование

Заключение

Литература

Введение

Первые эксперименты Брайта и Тьюва по радиозондированию ионосферы, опубликованные в 1926 г., явились прямым доказательством существования проводящего электрического слоя в атмосфере Земли. Этим экспериментом была закончена бесплодная дискуссия о существовании в верхней атмосфере зеркала отражающего радиоволны обратно на Землю. Действительно, казалось бы, что еще в 1901 году после блестящего эксперимента Маркони, который передал букву "S" с помощью радиоволн через Атлантический океан, существование в атмосфере слоя, отражающего радиоволны, не должно было вызывать сомнений. Тем более, что в 1902 году в Британской энциклопедии появилась статья Хевисайда, в которой были рассмотрены основные вопросы распространения радиоволн в эксперименте Маркони, показана первая теория ионизации атмосферы солнечным излучением с образованием слоя, отражающего радиоволны. Однако, ведущие физики того времени не согласились с выводом о существовании в атмосфере Земли проводящего электричество слоя, отражающего радиоволны. Зоммерфельд провел обширные вычисления поля радиоволн на основе дифракции на сферической поверхности Земли и эксперимент Маркони стали трактовать как доказательство этой дифракции. И только эксперименты по радиозондированию явились тем доказательством, которое всех убедило в существовании ионосферы.

1. Сеть ионозондов

Качество информации, получаемой в результате зондирования ионосферы, напрямую зависит от отношения сигнал/шум на выходе радиоприемного устройства ионозонда, которое равно произведению отношения сигнал/шум на входе РПУ, умноженному на базу сигнала , повышение качества выходной информации возможно либо путем увеличения мощности зондирующего сигнала (т.е. первого сомножителя), либо увеличением его базы (т.е. второго сомножителя). Применение для зондирования сигналов с большими базами позволяет значительно снизить мощность излучения, а, следовательно, массу и габариты оборудования. Ионозонды, использующие непрерывные сигналы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ-ионозонды).

База элемента сигнала составляет B = 105-106. Вертикальный ионозонд имеет мощность излучения около 10 Вт, а наклонный - 10-100 Вт. Приемное и передающее оборудование имеет самые малые: массу, габариты, и энергопотребление. Они примерно в 10 раз меньше, чем у импульсного ионозонда. В приемнике ЛЧМ ионозонда полезный сигнал преобразуется в тоны звуковых частот, которые пропорциональны задержкам сигналов принимаемых по разным лучам. Для их приема в большинстве случаев достаточна полоса частот не более 500Гц. При гетеродинировании сосредоточенная помеха преобразуется в ЛЧМ сигнал, спектральная плотность мощности которого в меньше, чем у самой помехи. Так, что на полосу пропускания приемника приходится мощность помехи в базу раз меньшая мощности сосредоточенной помехи. Кроме того, в результате воздействия ЛЧМ помехи на узкополосный приемник, на его выходе будем иметь радиоимпульс, длительностью . Например, при характерных для ВЗ значениях =500 Гц, =50кГц/с длительность импульса составит 10 мс. Следовательно, на выходе системы сжатия ЛЧМ приемника будут наблюдаться: полигармонический полезный сигнал и импульсы, порожденные станционными помехами. Отметим, что импульсы, если их немного на времени анализа сигнала, могут быть либо "режектированы", либо ограничены по амплитуде.

Низкая помехоустойчивость и энергетика сигнала импульсных ионозондов привели к тому, что в настоящее время в ведущих странах мира для зондирования ионосферы импульсные ионозонды применяются только для вертикального зондирования и в основном в исследовательских целях. Более широкое распространение получили ЛЧМ ионозонды, особенно в военных целях, так в странах НАТО ЛЧМ ионозонд является основой для современных систем ионосферно-волновых и частотно-диспетчерских служб (ИВЧДС) КВ-радиосвязи и систем частотного обеспечения загоризонтных РЛС, позволяющих адаптировать радиотехнические системы по мощности сигнала, скорости передачи информации, виду сигнала и др., а также прогнозировать параметры систем для надежной работы на несколько часов вперед.

ЛЧМ ионозонд постоянно модифицируется, беря на себя функции передачи информации (например, комплекс "Chirpcomm"). Огромная избыточность в сигнале позволила использовать зондирующий сигнал для одновременной передачи информации (команд). Фирма Barry Res. Corp. сообщает, что команда объемом 40 бит передается 63 раза за время зондирования и поэтому "сверхнадежно" доходит до получателя. Такое применение ЛЧМ ионозонда обусловило недостаток информации о нем в открытой литературе. Поэтому российским ученым пришлось фактически создавать ЛЧМ ионозонд "заново". В России первые ЛЧМ ионозонды были разработаны и созданы в двух организациях: Институте солнечно-земной физики (ИСЗФ СО РАН - г. Иркутск) и Марийском государственном техническом университете (г. Йошкар-Ола) [76]. В реализации данных ЛЧМ ионозондах использован способ, носящий название "сжатие по частоте", применяемый к "непрерывным" ЛЧМ сигналам. Суть метода хорошо видна на примере отражения от зеркала. Пусть излучается сигнал, у которого частота линейно меняется со временем. Сигнал отражается от неподвижного зеркала и принимается приемником (возможно, в другом месте). Если умножить принимаемый сигнал на копию излучаемого и отфильтровать разностную частоту, то получаем монохроматический сигнал, частота которого определяется временем распространения, отставания сигнала отраженного, от сигнала опорного, равного излучаемому сигналу. Фактически, это та же согласованная фильтрация, но в частотной области. Если время задержки для всех частот одинаково, разностный сигнал имеет постоянную частоту, которая легко определяется с помощью резонансных фильтров. При зондировании естественных сред всегда присутствует дисперсия, заключающаяся в том, что скорость распространения волны зависит от частоты. Это приводит к тому, что частота разностного сигнала начинает "плыть", меняться со временем. Естественный выход: вырезать временным окном "кусочки" разностного сигнала, пока частота не сильно изменилась, и проводить спектральный анализ в окнах. При этом возникают вопросы: к какой частоте зондирующего относить определяемые в окне задержки, если частота зондирования за время окна пробегает существенный диапазон; к чему приводят дисперсионные искажения; как результат зависит от формы временного окна и пр. Все эти вопросы неоднократно рассматривались, и, так или иначе, находили свое решение. Исполнителями данной работы также был проведен анализ прохождения и обработки непрерывных ЛЧМ сигналов при зондировании естественных сред. При этом в основу было положены следующие принципы: анализировать то, что регистрируется; канал характеризуется его передаточной функцией. Канал определяется не только средой распространения, но и передающим и приемным оборудованием. Подчеркнем, что, в отличие от других авторов, решавших задачу анализа прохождения ЛЧМ сигнала через ионосферный радиоканал, нами получено выражение для регистрируемого спектра, явно зависящее от формы окна, что позволяет ставить задачу оптимизации, то есть пытаться определить, в каких ситуациях какие временные окна более подходят для решения задач зондирования. Проведенный анализ показывает, что универсальным средством для работы в режимах вертикального и наклонного зондирования, оптимальным по критериям минимальной мощности излучения сигнала и высокой разрешающей способности по задержке сигнала является ионозонд с линейно-частотно модулированным сигналом. Такой сигнал в значительно меньшей степени чем импульсный уязвим по отношению к сосредоточенным помехам, преобладающим в КВ диапазоне. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что импульсный ионозонд из-за высокой мощности излучения создает значительно больше помех, что весьма ограничивает применение их на стационарных узлах связи и в непосредственной близости от радиоприемных устройств.

ЛЧМ зонд с непрерывным излучением лишен указанных недостатков, но при этом предполагает пространственное разнесение передающей и приемной частей комплекса, что в свою очередь требует строгой временной привязки для синхронизации работы. Поэтому встала насущная задача: создание ЛЧМ зонда, передающая и приемная части которого расположены в одном пункте, имеющего преимущества ЛЧМ сигнала и лишенного недостатков существующих импульсных ионозондов. Расположение в одном месте приемной и передающей частей зонда и использование одной антенны для приема и излучения вынуждает применять псевдонепрерывный ЛЧМ сигнал. При этом, естественно, излучение и прием должны происходить попеременно. Т.к. импульсные ионозонды с временным определением высоты отражающего слоя должны иметь время приема около 5 мс и длительность излучаемого сигнала 50-500 мкс, то скважность работы составит не менее 10. При зондировании псевдонепрерывным ЛЧМ сигналом и спектральной обработке длительность излучаемого сигнала ограничивается только минимальной высотой определяемого слоя, а время приема, для увеличения энергетической эффективности, желательно иметь равное времени излучения, таким образом, интегральная скважность зондирования равна 2. При этом энергетический выигрыш по отношению к импульсному ионозонду составит 5 при проигрыше по отношению к непрерывному ЛЧМ в 2 раза. Кроме того, при приеме потери также составят 2 раза. Таким образом, нормированная энергетика, по отношению к непрерывному ЛЧМ, составит 0,25. Время излучения и приема при этом может быть любым, ограниченным только соображениями минимальности энергетических потерь, частотным разрешением и скоростью ЛЧМ.

Развитие современных средств цифровой обработки сигналов позволяет предлагать универсальные решения для комплексных исследований распространения сигналов КВ-диапазона. Наличие большого количества программно контролируемых независимых приёмных каналов и высокий динамический диапазон цифровых радиоприёмных устройств при относительно небольшой конечной стоимости изделия позволяет проводить одновременные исследования практически любыми известными методами зондирования ионосферы (кроме однопозиционного импульсного зондирования). Исследования, проведённые на полигонах ИСЗФ СО РАН, показали возможность построения принципиально нового диагностического средства - моностатического ЛЧМ-ионозонда на непрерывном сигнале.

Наличие четырёх когерентных антенных каналов оцифровки и более десяти каналов гетеродинирования с произвольными параметрами в одном радиоприёмном устройстве позволяет реализовывать когерентные антенные решётки. Ниже приведён сводный список требований к аппаратным средствам ЛЧМ зондирования ионосферы: наличие высокостабильного источника опорной частоты, подстраиваемой по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем, обеспечивающего собственную шкалу точного времени; автоматическая привязка к точному времени; автоматическое формирование кадров ЛЧМ-зондированя в соответствии с режимами, заданными в программе наблюдений; в каждом кадре и канале могут быть заданы независимые значения параметров; возможность совмещения одним ПК функций управления синтезатором ЛЧМ-сигналов, привязки к точному времени и цифрового приёма; диапазон возможных параметров ЛЧМ-сигнала должен обеспечивать совместимость с отечественными и зарубежными ЛЧМ-ионозондами; высокий динамический диапазон формирователя сигнала ЛЧМ-зондирования; возможность непрерывной автономной работы комплекса в режиме автоматического сбора данных и отправки их в удалённое хранилище; наличие собственной системы самодиагностики и контроля параметров; максимальное использование современных унифицированных комплектующих, что гарантирует высокую ремонтопригодность, стабильность параметров и метрологических характеристик (точность привязки, линейность и динамический диапазон ЛЧМ-сигнала).

Комплекс содержит программно-алгоритмические и технические средства для установки параметров: режимов зондирования, автоматической работы с заданной периодичностью, поддержания заданной точности привязки, текущего контроля циклов работы и нестабильности опорного генератора. Для формирования ЛЧМ сигналов в разработанном ионозонде применяется оценочная плата AD9854/PCB, представляющая законченное устройство, в состав которой входят: чип цифрового 48-и разрядного синтезатора прямого синтеза AD9854ASQ, фильтр нижних частот с частотой среза 120 МГц, параллельный и последовательный интерфейсы для подключения синтезатора к пк ,является высоко интегрированным устройством, использующим современную технологию DDS (Direct Digital Synthesizer) и позволяющим синтезировать сигналы с точностью 1 микроГерц в диапазоне частот 0,000001 Гц - 150 МГц при тактовой частоте 300 МГц. 12 разрядный ЦАП на выходе синтезатора позволяет получить высокие характеристики по реальному динамическому диапазону и отношению сигнал/шум синтезированного ЛЧМ сигнала. Основные элементы цифровой части приёмника сосредоточены в модуле цифрового приёмника. Этот модуль производит канальную фильтрацию и демодуляцию сигнала. Основные компоненты модуля - высокочастотный АЦП, цифровой квадратурный понижающий преобразователь DDC и сигнальный процессор. Кроме перечисленных функций, модуль цифрового приёмника может производить мониторинг спектра входного сигнала с помощью БПФ. С выхода модуля информационный поток демодулированных данных поступает в вычислительную среду для дальнейшей обработки. В модуле цифрового приёмника отсчёты с выхода АЦП обрабатываются специализированным сигнальным процессором DDC (Digital Down Converter). Функции этого процессора - преобразование информативного спектра частот в область низких (нулевых) частот, квадратурная фильтрация и децимация отсчётов сигнала. По реализуемым функциям - это цифровой приёмник прямого преобразования. DDC имеет два перемножителя, генератор отсчетов SIN и COS, идентичные каналы НЧ децимирующих фильтров.

Частота настройки внутреннего генератора может изменяться в диапазоне от 0 до половины тактовой частоты DDC. Частота среза фильтров изменяется от единиц до сотен кГц. Процессор производит децимацию отсчётов сигнала для того, чтобы скорость потока данных с выхода DDC была сообразна ширине спектра выходного сигнала. Следует отметить, что на выходе DDC отношение сигнал/шум выше, чем на входе, из-за эффекта процессорного усиления. Возрастание отношения сигнал/шум весьма значительное и составляет 20-40дБ. Для построения цифрового приемника ЛЧМ сигналов хорошо подходит известный субмодуль цифрового приема ADMDDC4x16v3, который производится Российской компанией "Инструментальные Системы". Этот субмодуль предназначен для создания систем сбора и цифровой обработки высокочастотных аналоговых сигналов с широким и сосредоточенным спектром в полосе от 1,0 до 170 МГц. Субмодуль позволяет выполнять следующие операции: - выделение (фильтрацию) полезных сигналов из всего спектра входного сигнала или на выходе широкополосной ПЧ аналогового приёмника; - обработку данных каждого канала своим DDC. Субмодуль содержит: - четыре 16-разрядных АЦП с частотой дискретизации до 100 МГц; - четыре четырёхканальные микросхемы DIGITAL DOWN CONVERTER (DDC) GC4016 фирмы Texas Instruments для извлечения интересующей полосы частот из полосы частот входного сигнала, преобразования этой полосы в полосу модулирующих частот и вывода её в квадратуре. Это преобразование выполняется смещением интересующей полосы частот к нулевой частоте при цифровом умножении данных от АЦП на квадратурное опорное колебание внутреннего генератора DDC.

. Принципы построения и использования современных бортовых ионозондов

Основные принципы создания современных наземных цифровых ионозондов естественным образом перенесены на конструирование бортовых устройств. Более того, не только принципы, но зачастую и элементы конструкции, разумеется, с учетом их космического базирования остались прежними. Так дигизонд 128PS был переработан Университетом в Лоуэлле в блок небольшой мощности 128S, пригодный для использования в космосе. Ионозонд 128S позволяет одновременно измерять амплитуду, фазу, доплеровский эффект, дальность отражения и поляризацию волны. Бортовое использование прямого дискретного Фурье-преобразования для усиления отношения сигнал/шум, устранения помех и определения природы сигналов, используемые в этом приборе, позволяют применять его не только в качестве ионозонда внешнего зондирования для целей контроля параметров ионосферы и последующего автоматического картирования планетарной ионосферы, но и в иных целях. Так, перспективным считается использование прибора на борту обитаемых космических лабораторий (КЛА) "Спейс Шаттл", где оператор может управлять режимом работы прибора в процессе научных исследований. При наличии синхронизированного датчика на Земле, цифровой зонд 128S на борту спутника может работать в режиме трансионосферного зондирования. Его создатели подчеркивают, что, будучи установленным на ИСЗ с низкой орбитой (100-400 км), он может принимать сигналы от радиоволн, расположенных в естественных радиоканалах, которые находятся в ионосфере вблизи областей уменьшения ионизации (например, в долине, или на высотах минимума частоты соударений), что необходимо для изучения условий и механизмов распространения радиоволн на большие расстояния.

Наиболее характерной чертой ионозонда 128S является использование комплексного спектрального анализа в процессе получения ионограмм. Это позволяет значительно усилить сигнал при когерентном приеме даже в случае быстрого движения антенны, характерного для внешнего и трансионосферного зондирования.

Для ограничения потока данных используется бортовой процессор, в котором имеется схема сравнения сигналов, выбирающая среди всех сигналов самый большой отдельно для каждого дискрета дальности. Быстрый анализ спектра делает возможным когерентное детектирование всех приходящих отраженных сигналов, а также разделение и определение углов прихода сигналов для всех выбранных интервалов дальностей. Режим максимальной амплитуды используется для получения многопараметрических цифровых ионограмм. Для каждого из имеющихся 38 дискретов дальности определяется максимальная из измеренных амплитуд для трех соседних дискретов или интервалов задержки, восемь доплеровских частот и две поляризации. Такая многопараметрическая система делает возможным одновременное измерение и запись до 16 различных ионограмм (восемь доплеровских частот и две поляризации) без увеличения хранимой информации для одной из 38 дальностей на каждой рабочей частоте. Другой типичный бортовой ионозонд (блок 5Д2) разработан для использования в многоцелевых ИСЗ, применяемых в американской программе военных метеорологических спутников.

Для уменьшения влияния ионозонда на системы спутника приняты следующие ограничения максимальная мощность излучения 30 Вт (по сравнению с 300 Вт на "Алуэтте-1" или ИК 19), максимальная длина антенной штанги 17 м, максимальная скорость передачи данных 3168 бит/с (~3,17 кГц). Эти ограничения вместе с требованием снятия ионограммы за достаточно малые интервалы времени для точного определения параметров ионосферы требуют использования в ионозонде сложного зондирующего сигнала. В таком сигнале на каждой частоте посылается 27 импульсов, каждый из которых состоит из четырех смежных импульсов по 133,3 мкс. Нечетные частоты используются с частотой повторения 263 Гц, а четные - 200 Гц. Структура "окон дальности" дает возможность наблюдения действующих высот от 125 до 1995 км. Около половины сигналов излучается с правосторонней поляризацией, а остальная половина - с левосторонней. Особый интерес в этом ионозонде представляет антенная система. Она состоит из четырех монополей длиной 17 м, образующих два ортогональных согнутых диполя с углом 100°. Такая антенна имеет диаграмму направленности без боковых лепестков и является поляризационной системой в диапазоне 3 - 19 МГц. При излучении четыре монополя соединяются попарно, образуя два диполя, каждый из которых излучает линейно поляризованную волну, так что в результате получается волна Х-типа даже вблизи магнитного экватора. Во время приема каждый из монополей используется отдельно, образуя антенную систему с право- и левосторонней круговой поляризацией. Здесь нелишне напомнить, что такая сложная излучающая система, которая должна быть всегда известным образом ориентирована относительно магнитного экватора, в дальнейшем обеспечивает простоту, а следовательно, скорость автоматической (без участия человека) обработки ионограмм и автоматического картирования планетарной ионосферы.

Центральной проблемой при создании алгоритма обработки ионограмм является необходимость создания полностью автоматической системы, работающей в реальном масштабе времени и непрерывно выполняющей планетарное картирование. Успех в автоматизации этого процесса зависит от следующих факторов: качества полученных поляризационных ионограмм, безошибочного выбора сигнала на фоне помех, возможно более точного определения h'o,x(f)- кривых в особо критичных местах (зона критических частот и зона плазменных резонансов). В отсутствии аппаратуры и алгоритмов обработки для автоматического считывания ионограмм наиболее разумным представляется использование интерактивного режима, при котором оператор вводит h'o,x(f)-кривые в ЭВМ, используя подходящие устройства для быстрого ввода информации. После введения действующих "глубин" либо в автоматическом, либо в интерактивном режиме собственно расчет N(h)-профиля внешней ионосферы отличается от расчета N(h)-профиля внутренней ионосферы только наличием подпрограммы, определяющей параметры геомагнитного поля и отсутствием сложностей, связанных с областями "ненаблюдаемой ионизации". Пример определения N(h)-профилей внешней ионосферы и их стыковки с профилями наземного зондирования. Иногда встречающееся в литературе замечание о "наложении" друг на друга (отсутствие стыковки) профилей внешней и внутренней ионосферы является результатом недоразумения и объясняется либо невертикальным распрстранением (т.е. наличием крупномасштабных неоднородностей), либо зондированием фактически разных областей ионосферы5 в условиях локальных горизонтальных градиентов. Функции ионозонда внешнего зондирования могут выполнять системы, предназначенные в общем для других целей. Например, доложено о создании системы зондирования ионосферы в диапазоне 0,3 - 30 МГц, которая в основном предназначена для экспериментов в космической лаборатории "Спейс Шаттл". Она состоит из передатчика и связанных с ним фазово-когерентных приемников, управляемых микропроцессором. Фактически это система, в которой оператор на космическом корабле с помощью ЭВМ может "набирать" ту или иную аппаратуру радиозондирования, включая различные виды ионозондов внешнего зондирования и трансзондирования с различными уровнями излучения передатчика, различными частотами и модуляцией. При этом частота и амплитуда могут оставаться постоянными или изменяться плавно и ступенчато. В описываемой системе используются дипольные антенны длиной 300 м, которые при согласовании излучают мощность до 500 Вт. Один из приемников располагается при этом на орбитальной станции, второй на отделяемом космическом аппарате.

Планируются измерения на удалении до нескольких тысяч километров. При этом собственно идея системного радиозондирования получает дополнительное развитие за счет отделяемого зонда. Фактически осуществляется внешнее радиозондирование (приемник и передатчик вместе на КЛА), трансионосферное радиозондирование (Земля-КЛА) и просвечивание исследуемой области ионосферы (КЛА-зонд). Диапазон развертки по частоте, ширина импульса, частота повторений и мощность меняются оператором КЛА. Система измеряет задержку амплитуду, фазу и доплеровский сдвиг частоты принятых сигналов. Поскольку на данной частоте доплеровский сдвиг меняется как косинус угла между волновой нормалью и вектором скорости приемника, он является характеристикой отраженного луча и позволяет разделить отражение лучей, пришедших из разных областей и имеющих одну и ту же задержку.

. Вертикальное наземное радиозондирование

Основным методом системного радиозондирования является метод вертикального радиозондирования с поверхности Земли, а принципиальной основой аппаратурных решений для всей системы в целом является аппаратура вертикального зондирования. При этом аппаратурные решения для ВЗ фактически на каждом этапе развития определяли схемы наклонного, внешнего, возвратно- наклонного и трансионосферного зондирования. Поэтому целесообразно более тщательно рассмотреть принципы аппаратурных решений ионозондов ВЗ и основы обработки их данных.

Ионозонд есть радиолокатор, измеряющий высоту отражения радиоволн различной частоты в диапазоне плазменных частот ионосферы. Прибор должен создать радиосигнал, подходящей формы для измерения высоты, излучить его в пространство преимущественно вверх (с поверхности Земли), принять отраженный от ионосферы эхо-сигнал, обработать его и представить наблюдателю в удобной для анализа форме. Фактически измеряется не высота отражения радиоволн, а время, в течение которого радиоволны достигают своего уровня отражения и возвращаются обратно. Умножив его на скорость света в вакууме, наблюдатель и получает высоту отражения. В связи с тем, что скорость радиоволн в плазме меняется в зависимости от многих факторов, полученный результат не есть истинная высота отражения, а несколько большая величина, которую принято называть "действующей" высотой. Для получения истинной высоты отражения радиоволн различных частот необходимо произвести расчеты, которые обычно называют расчетом Nh-профиля ионосферы.

Основная характерная черта аналоговых ионозондов заключалась в следующем: рабочая частота в диапазоне плазменных частот ионосферы меняется непрерывно либо за счет движений механических деталей (например, вращается одна из "пластин" конденсатора), либо тем или иным электрическим способом. При этом импульсный генератор модулирует эту частоту так, чтобы на выходе имелась последовательность заполненных медленно меняющейся частотой импульсов необходимой длительности (обычно 100 мкс). В этой схеме простая синхронизация возможна только для случая вертикального радиозондирования. Схемы же наклонного, а особенно трансионосферного зондирования отличаются повышенной сложностью. Уже в рамках аналоговых схем были созданы первые поляризационные ионозонды, т.е. такие, в которых можно отдельно получать параметры обыкновенной и необыкновенной волн. С одной стороны, их использование существенно упростило анализ ионограмм и расчет N(h)-профилей, что оказалось особенно важным для случаев сложной "облачной" структуры ионосферы, характерной для активных экспериментов. С другой стороны, они позволили анализировать частотную зависимость амплитуды сигнала, отраженного от области F ионосферы, в условиях отсутствия поляризационного фединга. Это привело к появлению методов экспериментального определения профилей частоты соударения электронов во всем высотном диапазоне внутренней ионосферы. Дальнейшее совершенствование аппаратуры ВЗ связано с развитием цифровых ионозондов. Их основное отличие от аналоговых заключается в том, что управление характеристиками ионозонда и анализ получаемой информации осуществляется компьютером, входящим в состав аппаратуры.

Для цифровых ионозондов характерно наличие цифрового синтезатора частоты. В СССР были созданы семейство цифровых ионозондов "Базис", ионозонды "Сойка", "Авгур", Бизон, Парус; на Западе - ионозонды 128, 256, 610М1, DPS-4, CADI , IPS-71. Следует особенно отметить, что анализ цифровых ионограмм естественным образом позволяет расширить число измеряемых ионосферных "радиофизических" параметров. Теперь регистрируется не только действующая высота или глубина отражения, но и одновременно измеряются частотные зависимости амплитуды сигнала, фазы, доплеровского сдвига, поляризации. Эта дополнительно получаемая информация в значительной степени увеличивает полезность проводимых измерений, так как потенциально каждый из указанных радиофизических параметров определяет тот или иной геофизический параметр.

Заключение

Для совместной синхронной работы наземных и спутниковых ионозондов необходим единый для системы мониторинга протокол, регламентирующий диапазоны зондирования, структуру используемых сигналов, временные режимы и т. п. Целесообразно введение в НТМ сигнал специальной квитанции о номере ИСЗ, режимах зондирования и варианте временной привязки для оперативной подстройки наземной аппаратуры под режим каждого спутника. При развертывании космического сегмента "Ионозонд", для бортовых ионозондов которого НТМ передатчик канала научной телеметрии предполагается включать в состав ионозонда, для первого ИСЗ, возможно, необходимо сохранить аналоговый сброс информации с синхрометками.

Наземные ионозонды должны иметь синхронизатор, позволяющий по сигналам точного времени, в том числе сигналам GPS или ГЛОНАСС или внешним маркерам, включать программу совместной синхронной работы. Для обеспечения ЭМС (в том числе исключения наложения ионограмм и трансионограмм в кадрах) режимы работы ионозондов и время их зондирования в сети следует сдвигать во времени по определенной утвержденной сетке, связанной с мировым временем. Необходимо учесть, что зондирование одновременно бортовыми и несколькими наземными ионозондами создает дополнительные значительные трудности в обработке данных в реальном времени (даже при автоматизации обработки стандартных ионограмм) за счет значительного увеличения потока информации.

радиозондирование бортовой наземный ионозонд

Литература

1. Иванов В.А., Куркин В.И., Носов В.Е. и др. ЛЧМ ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях. 2003.

. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С., Григорьев В.Ф., Романова Н.Ю., Назаренко М.О., Вапиров Ю.М., Иванов И.И. Трансконтинентальная радиотомографическая система.

. Афраймович Э.А. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли.

.Иванов И.И., Журавлев С.В. Пространственное разрешение при спутниковом ионосферном зондировании .