

*А. А. ГУБАРЕВ, С. Г. ЛЕУС, В. А. МИСЮРА, д-р техн. наук,
В. А. ПОДНОС, канд. физ.-мат. наук, С. Н. ПОХИЛЬКО*

КОМПЛЕКС МНОГОЧАСТОТНОГО РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Важной проблемой повышения надежности ионосферных каналов связи является адаптация к достаточно кратковременным (характерное время около 1—10 мин) изменениям параметров ионосферы. Возмущения в верхней атмосфере генерируются естественными и искусственными источниками: солнечными вспышками, землетрясениями, исследовательскими и промышленными взрывами, мощным радиоизлучением, полетами космических аппаратов, активными экспериментами, проводимыми в космосе. При этом возникают нестационарные процессы в атмосфере, в том числе существенные (десятки—сотни процентов) вариации параметров ионосферы в значительных по протяженности (тысячи километров) регионах. Наклонное зондирование (НЗ) — измерение характеристик радиосигналов на наклонных трассах — успешно используется при исследованиях пространственно-временной структуры ионосферы [1; 2]. Эффективность НЗ при решении задачи адаптации ионосферных радиоканалов к кратковременным возмущениям параметров ионосферы объясняется тем, что реализация этого метода позволяет проводить прямые измерения вариаций характеристик радиосигналов, обусловленных нестационарными явлениями различной природы.

В Харьковском государственном университете проводятся комплексные исследования возмущений ионосферы с использованием ряда радиофизических методов: вертикальное зондирование с помощью ионосферной станции, вертикальное доплеровское зондирование в декаметровом диапазоне, частичных отражений, прием сигналов ИСЗ, регистрации собственного излучения ионосферы. Стационарные и передвижные радиотехнические комплексы, используемые в экспериментальных исследованиях, размещаются в высокоширотном, двух среднеширотных узлах и в экспедициях.

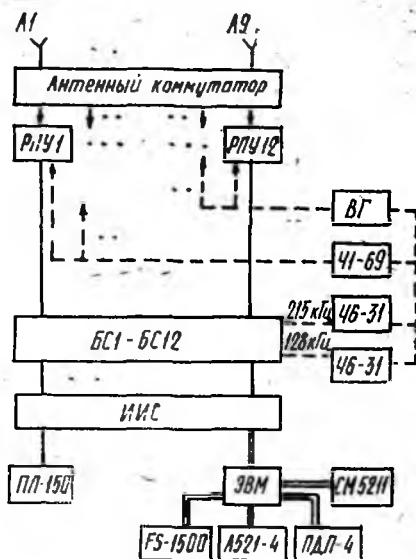
В статье описывается радиотехнический комплекс наклонного многочастотного радиозондирования ионосферы. Его приемно-измерительная часть (ПИЧ), расположенная вблизи пос. Граково Харьковской области, позволяет производить когерентный прием радиосигналов одновременно на 12 трассах в диапазоне частот от 3 кГц до 30 МГц. Экспериментальные данные в цифровом виде регистрируются перфолентой или магнитной лентой и обрабатываются на ЭВМ.

Измеряются вариации амплитудно-частотных характеристик радиоволн. В качестве зондирующих используются сигналы сети радиостанционных станций, станций точного времени и эталонных частот, а также сигналы декаметрового диапазона передатчиков радиотехнической обсерватории Харьковского университета [3], расположенной в пос. Гайдары Харьковской области (расстояние между передатчиками и ПИЧ около 45 км). Выбор трасс и рабочих частот определяется решаемой задачей и условиями проведения эксперимента. Блок-схема ПИЧ приведена на рисунке: сплошными линиями показаны радиосигналы зондирования, штриховыми — синхронизирующие (опорные) сигналы.

Антенная система. В комплексе используются следующие типы приемных антенн: активные рамочные антенны А1-А5, с помощью которых производится разделение пространственных компонент сигнала (диапазоны гектометровых, километровых, мириаметровых радиоволн); скрещенные вертикальные антенны типа «Дельта» А6-А7 с высотой подвеса примерно 15 м и ориентацией С-Ю, В-З (диапазоны декаметровых и гектометровых волн); два ортогонально расположенных горизонтальных активных вибратора А8-А9 с длиной плеча порядка 4 м (декаметровые волны). Антенная система ПИЧ позволяет также исследовать поляризационные свойства радиосигналов. Через антенный коммутатор и ступенчатый аттенюатор сигнал поступает на входы радиоприемных устройств (РПУ) РПУ1-РПУ12.

Радиоприемные устройства. Во всем диапазоне рабочих частот применены приемники синтезаторного типа с общей синхронизацией от рубидиевого стандарта частоты Ч1-69 (относительная нестабильность по частоте $2 \cdot 10^{-11}$). В состав комплекса входят радиоприемные устройства: РПУ1-РПУ2 — Р-260-01 (3 кГц — 100 кГц); РПУ3-РПУ4 — Р-160П (1,5 МГц — 30 МГц); РПУ5-РПУ6 — Р399 (1,5 МГц — 30 МГц); РПУ7-РПУ12 — Р-250 М (1,5 МГц — 30 МГц). Радиоприемники Р-250 М используются с внешними гетеродинами (ВГ) — генераторы ГЗ-101 и синтезаторы частоты Ч6-31.

Устройства обработки. На блок ключевых балансных смесителей (БС1-БС12) подаются сигналы $f_{\text{пч2}}$ с усилителей второй промежуточной частоты 128 кГц (РПУ1-РПУ3), 215 кГц (РПУ4-РПУ12) и опорные сигналы f_0 с синтезаторов частоты Ч6-31. Частота расстройки выбирается равной единицам Гц. После активного фильтра НЧ с полосой пропускания от 0 до 7 Гц сигнал поступает на вход информационно-



измерительной системы (ИИС). Последняя состоит из устройства управления, коммутатора и одиннадцатиразрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) Ф7077. ИИС позволяет производить построение временных рядов с частотой дискретизации до 10 Гц в каждом канале. Регистрация производится на перфоленту перфоратором ПЛ-150М или магнитную ленту кассетного накопителя СМ5211, управляемого ЭВМ. Временная привязка осуществляется с помощью часов «Автохрон» по сигналам станции РБУ (66,6 кГц) или с помощью приемника Ч7-13 по сигналам станций РВМ с точностью, не хуже 1 с. Контрольные регистрации производятся приборами А550-001, подключенными к выходам балансных смесителей. Результаты обработки в виде таблиц и графиков выводятся с помощью синтезирующего печатающего устройства А521-4 и двухкоординатного графопостроителя ПДП4-002.

Вычислительная часть ПИЧ создана на базе ЭВМ «Электроника В» МС11900.1. Обработка ведется с использованием языков программирования QUASIC 2.2. и ассемблера. При обработке вычисляются доплеровские спектры, вариации амплитуд и доплеровских частот отдельных гармоник с частотным разрешением 0,02 Гц, другие статистические характеристики принимаемых сигналов.

В качестве достоинств комплекса отметим возможность проведения дистанционной диагностики ионосферной плазмы в значительном радиочастотном диапазоне с экспериментальным получением ряда характеристик каждого из зондирующих сигналов; техническая реализация комплекса сравнительно проста. Для расширения возможностей комплекса многочастотного зондирования планируется увеличение количества собственных излучателей, а также использование приемной антенной решетки. Это позволит производить диагностику с разрешением по высоте, измерять фазовые характеристики, исследовать динамику пространственной структуры сигнала, в частности, девиацию углов прихода.

Список литературы: 1. *Нестационарные процессы в ионосфере Земли и их влияние на распространение коротких радиоволн* / Ю. Е. Таращук, П. М. Нагорский, Б. Б. Борисов и др. Томск : Изд-во Томск. ун-та, 1986. 164 с. 2. *Волноводные возмущения в ионосфере*. Алма-Ата. 1987. 172 с. 3. *Радиофизический комплекс для исследования динамических процессов E и F слоях ионосферы методом доплеровского зондирования* // Вестн. Харьк. ун-та. 1987, № 307: Радиофизика и электроника. С. 26—30.

Поступила в редколлегия 20.12.89