

---

## Устройство и принцип работы установки передачи и приема коротковолновых сигналов для связи и диагностики структуры ионосферы

Л.Б. Волкомирская<sup>1</sup>, О.А. Гулевич<sup>1</sup>, И.В. Крашенинников<sup>1</sup>, Н.В. Кривошеев<sup>2</sup>,  
А.Е. Резников<sup>1</sup>, В.И. Сахтеров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук им. Н.В. Пушкова.

<sup>2</sup>Донской государственный технический университет

**Аннотация:** Описаны оптимальные схемы устройства приемника и передатчика позволяющие использовать широкополосные (150-600 кГц) КВ сигналы для передачи информации и для исследования тонкой структуры ионосферы в различных гелиогеофизических условиях. Предлагаемые схемы делают возможным осуществлять прием с «разделением по лучам», и использовать энергию всех волн с целью повышения помехоустойчивости.

**Ключевые слова:** широкополосный сигнал, частота зондирования, синхронизация, антенна, опорный генератор, процессор, полосовой фильтр, помехоустойчивость, многолучевость, фаза, программа.

Особенностью ионосферного радиоканала является многолучевой характер распространения радиоволн, нередко приводящий к глубоким интерференционным замираниям сигнала и ограничению максимальной скорости передачи информации при использовании обычных узкополосным систем связи [1, 2]. Использование широкополосных сигналов позволяет осуществить прием с «разделением по лучам», и использовать энергию всех волн с целью повышения помехоустойчивости системы связи [3, 4]. Для этого необходимо подобрать квазиоптимальную схему приемника с учетом всех искажений сигнала, в том числе связанных и с многолучевостью [3-7].

В состав передающей установки входят передатчик, GPS-приемник, антенна GPS-приемника, передающая антенна и персональный компьютер (ПК).

С персонального компьютера через управляющую программу загружаются следующие рабочие параметры передающего комплекса: начальная и конечная частота зондирования, дискретность частоты

зондирования, периодичность времени зондирования, отстройка от контрольного времени, длина псевдослучайной последовательности (ПСП), используемой для расширения спектра, полоса передаваемого сигнала и время излучения.

Управляющий блок передатчика производит анализ полученных команд и переходит в режим ожидания контрольного времени. Одновременно производится синхронизация системного времени ПК с мировым временем (UT). При достижении заданного времени включается блок питания усилителя мощности, формируются управляющие и модулирующие сигналы, которые затем усиливаются усилителем мощности и излучаются передающей антенной. По выполнении задания посылается сообщение в ПК об основных параметрах выполненных операций, которые записываются в файл протокола работы передающей установки.

Таблица. Характеристики экспериментального аппаратного комплекса.

1.	Выходная мощность передатчика	200 Вт
2	Длина псевдослучайной последовательности	от 7 до 255 элементов
3	Диапазон рабочих частот	1.6 – 21.45 МГц
4.	Минимальная дискретность частоты	1 кГц
5.	Полоса рабочего сигнала	20 до 200 кГц (с шагом 20 кГц)
6.	Точность привязки по времени	$\pm 1$ мкс
7.	Длительность излучения на каждой частоте	до 1 с
8.	Максимальное время непрерывной работы	до 4 мин
9.	Чувствительность приемника (при	10 мкВ

максимальной ширине полосы)

Блок управления передающего комплекса реализован на сигнальном цифровом процессоре ADSP-2185. В круг его задач входят организация связи с ПК, управление усилителем мощности, управление GPS-приемником и формирование высокочастотного сигнала через микросхему прямого синтеза AD9854.

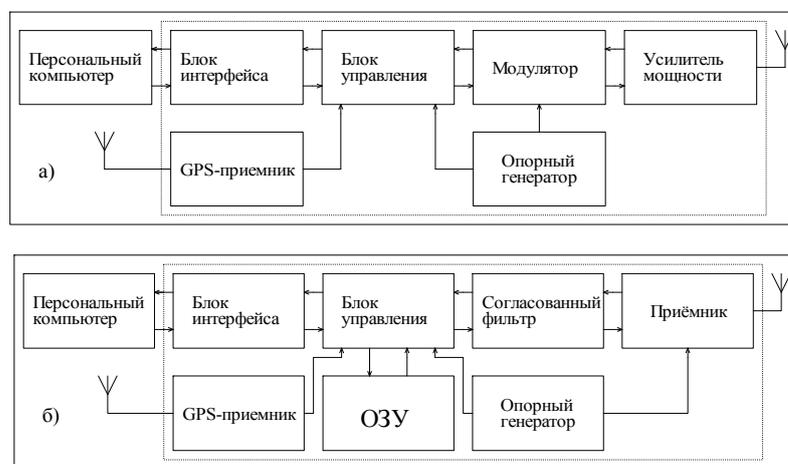


Рис. 1. Структурные схемы (а) передающей и (б) приемной установок

GPS-приемник осуществляет синхронизацию с мировым временем с точностью  $\pm 1$  мкс. При опросе GPS-приемник выдает текущее время и последовательность импульсов с периодом 1 с, которая используется в качестве меток времени. Для повышения надежности в условиях пропадания сигналов со спутников реализована местная синхронизация от опорного генератора с частотой 10 МГц и нестабильностью  $\pm 2,5 \cdot 10^{-8}$ . Процессор, управляя делителем частоты, подгоняет метку времени от опорного генератора к секундной метке от GPS-приемника и в дальнейшем периодически подстраивает местную метку. При пропадании сигнала от GPS-приемника происходит переход на «местное» время. Дополнительно после каждого сеанса корректируется системное время ПК.

Формирование высокочастотного сигнала производится через микросхему прямого синтеза, которая осуществляет формирование высокочастотного сигнала на заданной частоте и операцию фазовой манипуляции на  $180^\circ$  по закону ПСП. Для уменьшения внеполосного излучения элементом сигнала придается колоколообразная форма.

В состав приемной установки входят приемник, GPS-приемник, антенна GPS-приемника, приемная антенна и персональный компьютер.

Загрузка рабочих параметров в приемной установке производится также как и в передающей установке. При получении задания и достижении установленного времени приемник начинает в соответствии с программой производить сканирование частот, обрабатывать принимаемый сигнал на каждой частоте и передавать полученные результаты в ПК.

Блок управления приемной установки реализован на сигнальном цифровом процессоре ADSP-2185. В круг его задач входят организация связи с ПК, управление приемником, управление GPS-приемником, обработка данных согласованного фильтра с последующей их передачей в ПК.

Приемник реализован по супергетеродинной схеме. Для повышения динамического диапазона сигнал с антенны пропускается через субоктавные полосовые фильтры. После преобразования на первом смесителе сигнал проходит через два полосовых фильтра с центральной частотой 25 МГц и полосой пропускания 250 кГц, одновременно производится усиление тремя усилителями. Второй смеситель осуществляет квадратурное преобразование на видеочастоту. В последующем сигналы обоих квадратурных каналов проходят через ФНЧ и управляемые усилители, где производится дополнительное формирование полосы принимаемого сигнала и установка необходимого уровня выходных сигналов.

Сигналы с приемника оцифровываются 16 разрядным АЦП и поступают на блок согласованных фильтров. Полученный результат обработки для

---

каждой частоты записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), при этом возможна запись результатов в двух форматах: в первом случае записываются значения обоих каналов, в другом суммарный результат накопителя. Коэффициент и время накопления устанавливаются программно.

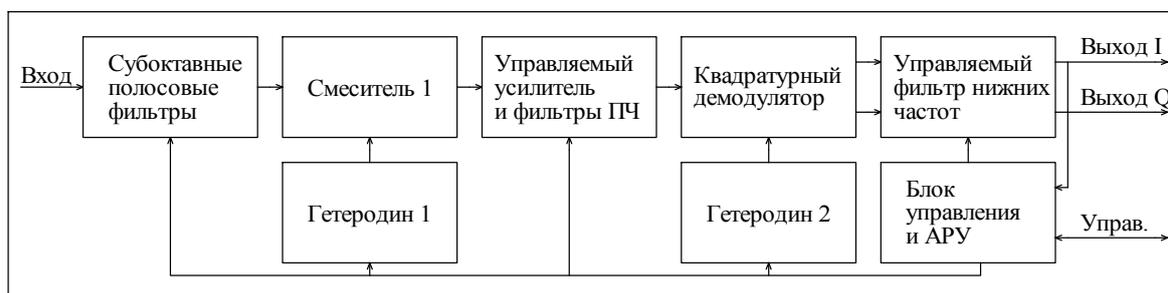


Рис. 2. Блок-схема приемника

После проведения измерений на всех заданных частотах результаты из ОЗУ передаются в ПК с указанием в имени файла текущей даты, времени сеанса, рабочей частоты и формата записи. Кроме того, на ПК формируется файл протокола работы, в который записываются все основные параметры сеанса измерений. В 1999-2004 гг. были проведены серии экспериментов на трассе Москва–Екатеринбург протяженностью около 1500 км.

Эксперименты проводились при различных выходных уровнях усилителя мощности (от 10 до 200 Вт), в диапазоне частот от 6 до 24 МГц и с разными антенными системами.

При интерпретации полученных экспериментальных результатов использовалась программа оперативного и долгосрочного прогноза HfPro. [8-13].

## Литература

1. Альперт Я.Л. Распространение радиоволн и ионосфера. – М.: Наука, 1972. 564 с.



2. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. 479 с.
  3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. 143 с.
  4. Окунев Ю.Б., Яковлев Л.А. Широкополосные системы связи с составными сигналами. – М.: Связь, 1968. 251с.
  5. Хмельницкий Е.А. Оценка реальной помехозащищенности приема сигналов в КВ диапазоне. – М.: Связь, 1975. 232 с.
  6. Омелянчук Е.В., Тихомиров А.В., Кривошеев А.В. Особенности проектирования систем связи миллиметрового диапазона радиоволн // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1742/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1742/).
  7. Тимошенко А.Г., Круглов Ю.В., Ломовская К.М., Белоусов Е.О., Солодков А.В. Особенности проектирования схем для исследования интегральных антенн // Инженерный вестник Дона, 2011, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3\\_y2011/476/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3_y2011/476/).
  8. Кица П.В., Крашенинников И.В., Лукашкин В.М. Моделирование многочастотного распространения КВ-сигналов в высоких широтах // Геомагнетизм и аэрномия. – 1993. – Т. 33. – № 1. – С. 158 с.
  9. Крашенинников И.В., Егоров И.Б., Коломийцев О.П., Черкашин Ю.Н. Погрешности прогнозирования ионосферного прохождения радиоволн на основе глобальной ионосферной модели // Геомагнетизм и аэрномия. – 2004г., т. 44, №2, 221 с.
  10. Maslin N.M. HF Communication: A System Approach. Pitman Publishing. 1987. 240 p.
  11. Forbes J.M., Palo S.E., Zhang X. Variability of the ionosphere // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. v. 62. № 8. p. 685, 2000.
-



12. Krasheninnikov I., Egorov I.B. IRI-2001 model efficiency in ionospheric radiowave propagation forecasting. Jour. Advances in Space Research. V.45. p.268, 2010.

13. Rishbeth H., Mendillo M. Patterns of F2-layer variability // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 63. № 15, p. 1661. 2001.

### References

1. Al'pert YA.L. Rasprostranenie radiovoln i ionosfera. [Radio wave propagation and ionosphere]. M.: Nauka, 1972. 564 p.

2. Dehvis K. Radiovolny v ionosfere. [Radio waves in the ionosphere]. M.: Mir, 1973. 479 p.

3. Varakin L.E. Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami. [Communication systems with noise-like signals]. M.: Radio i svyaz', 1985. 143 p.

4. Okunev YU.B., YAkovlev L.A. Shirokopolosnye sistemy svyazi s sostavnymi signalami. [Broadband communication systems with composite signals]. M.: Svyaz', 1968. 251p.

5. Hmel'nickij E.A. Ocenka real'noj pomekhozashchishchennosti priema signalov v KB diapazone. [Evaluation of the actual noise immunity of receiving signals in the KB range]. M.: Svyaz', 1975. 232 p.

6. Omel'yanchuk E.V., Tihomirov A.V., Krivosheev A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1742/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1742/).

7. Timoshenko A.G., Kruglov YU.V., Lomovskaya K.M., Belousov E.O., Solodkov A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №3 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/476/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/476/).

8. Kishcha P.V., Krasheninnikov I.V., Lukashkin V.M. Geomagnetizm i aehronomiya. 1993. V. 33. №1. 158 p.

9. Krasheninnikov I.V., Egorov I.B., Kolomijcev O.P., CHerkashin YU.N. Geomagnetizm i aehronomiya. 2004g, v. 44, № 2, 221 p.



10. Maslin N.M. HF Communication: A System Approach. Pitman Publishing. 1987. 240 p.
11. Forbes J.M., Palo S.E., Zhang X. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. v. 62. №8. p. 685, 2000.
12. Krashennnikov I., Egorov I.B. Jour. Advances in Space Research. V.45. p.268, 2010.
13. Rishbeth H., Mendillo M. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 63. № 15, p. 1661. 2001.