

# Теоретичні основи розробки систем озброєння

УДК 319.61.126

О.А. Войтович

Институт радиопизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, Харьков

## МОДЕРНИЗАЦИЯ РЛС С ВНЕШНЕЙ КОГЕРЕНТНОСТЬЮ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ МЕТЕООБЪЕКТОВ

В работе приведена структурная схема комплекса дистанционного зондирования метеообъектов, имеющего в своем составе аппаратуру радиовысотомера, использующего в штатном режиме внешнюю когерентность. Описаны изменения в функциональных связях между узлами аппаратуры, позволяющие получить внутренний псевдокогерентный режим работы. Даны краткие сведения о принципах построения дополнительных устройств, предназначенных для автоматического сканирования направлением максимума диаграммы направленности антенны, записи, обработки и отображения на экране персонального компьютера информации о радиолокационной отражаемости, скорости перемещения метеообъектов и других параметров по выбранной программе.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, внутренняя когерентность, метеообъект.

### Введение

В последние десятилетия значительно возросла необходимость получения оперативной информации об опасных явлениях в атмосфере с целью своевременного принятия мер по защите здоровья людей и обеспечения надежной и безопасной работы промышленных и сельскохозяйственных предприятий, транспорта, связи и др. К опасным явлениям в атмосфере относятся, в частности, области формирования грозных фронтов, прохождения кучево-дождевых облаков, выпадения интенсивных дождей, снежных бурь [1]. Своевременные знания о районах и количестве выпадающих осадков позволяют минимизировать возможный ущерб.

С целью получения такой информации широко используются метеорологические радиолокаторы (МРЛ), объединенные в многофункциональные сети и позволяющие контролировать метеообстановку в реальном масштабе времени [2]. Так, один МРЛ обрабатывает информацию с территории, площадью более 40 тыс. кв. км. Поэтому дистанционные методы зондирования предпочтительнее других. В Украине, в основном остались некогерентные МРЛ с устаревшей элементной базой. Однако существует ряд радиолокационных станций (РЛС), которые без существенных материальных затрат можно модернизировать и использовать для выполнения задач метеорологии.

Целью настоящей работы является описание комплекса дистанционного зондирования на основе модернизированной аппаратуры радиовысотомера с внешней когерентностью.

### Комплекс для дистанционного зондирования атмосферы

В состав комплекса дистанционного зондирования атмосферы входят (рис. 1):

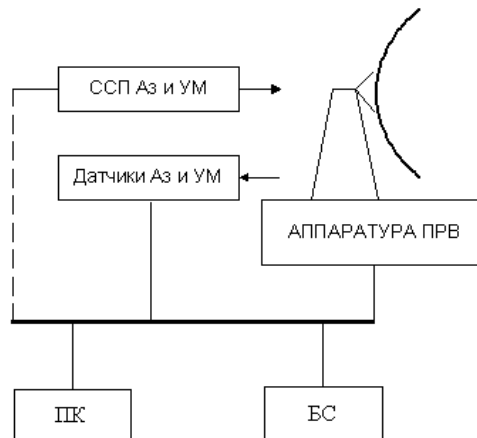


Рис. 1. Структурная схема комплекса дистанционного зондирования

- аппаратура радиовысотомера РВВ-9 с внешней когерентностью в штатном режиме (после модернизации работает в режиме внутренней псевдокогерентности);

- синхронно – следящие приводы (ССП) по азимуту и углу места, осуществляющие поворот антенны при ручном управлении или механическое сканирование при работе в автоматическом режиме;

- датчики угла места (УМ) и азимута (Аз), производящие отсчет значений текущих углов поворота осей антенны;

- блок сопряжения (БС), предназначенный для синхронизации работы всех узлов и блоков комплекса;

- персональный компьютер (ПК) с соответствующим программным обеспечением, позволяющим управлять работой всего комплекса, записывать и обрабатывать радиолокационную информацию.

**Аппаратура радиовысотомера [3].** Основным функциональным узлом комплекса является радиовысотомер (рис.2), принцип работы которого состоит в следующем.

Сигнал от магнетрона (М) передатчика через встроенный измеритель мощности (ИМ), антенный переключатель (АП), вращающиеся сочленения по азимуту и углу места (на рис. 2 не показаны), облучатель и антенну излучается в пространство. Отраженный сигнал через те же устройства подается на усилитель высокой частоты (УВЧ) на лампе бегущей волны и затем на первый смеситель СМ11. На второй вход СМ11 подаются непрерывные колебания первого гетеродина. В зависимости от поставленной задачи в качестве первого гетеродина используется клистрон амплитудного (КА) или когерентного (КК) режима. Далее сигнал первой промежуточной частоты усиливается в усилителе УПЧ11 и попадает на вход второго смесителя СМ21. После усиления в УПЧ21 в зависимости от выбранного режима работы возможны два пути прохождения сигнала. В амплитудном режиме с выхода детектора (Д) сигнал «Эхо А» отображается на индикаторах, а также (после оцифровки в АЦП) записывается в ПК.

В когерентном режиме сигнал второй промежуточной частоты подается на линию задержки (ЛЗ)

и на вход фазового детектора ФД, на второй вход которого поступает напряжение когерентного гетеродина. ЛЗ задерживает сигнал примерно на длительность импульса. При длительных эхо-сигналах, отраженных от облаков, протяженных местных предметов или искусственных источников помех на выходе ФД будут иметься видеоимпульсы, амплитуда и полярность которых не меняется. Если же в разрешаемом объеме находится движущаяся цель – на выходе ФД получим последовательность видеоимпульсов [4, 5], промодулированных частотой Допплера. После прохождения вычитающего устройства (на рис. 2 не показано) сигнал будет отсутствовать при отражениях от облаков и местных предметов, но движущаяся на их фоне цель будет обнаружена и определена скорость ее движения. В этом и заключается принцип работы РЛС с внешней когерентностью. Работа системы АПЧ описана в [3]. В антенном переключателе часть мощности сигнала магнетрона через направленный ответвитель поступает на смеситель СМ12, усиливается, преобразовывается в СМ22 и на второй промежуточной частоте подается на узел выработки напряжений подстройки гетеродинных клистронов (КА и КК) соответственно для амплитудного или когерентного режимов работы. Второй гетеродин Гет.2 общий для вторых смесителей каналов сигнала и системы АПЧ. Так как одной из задач метеорологии является распознавание опасной грозовой облачности, в том числе определение скорости движения ее фронта, использование аппаратуры ПРВ для этих целей невозможно без внесения изменений в структурную схему и замены некоторых ее элементов.

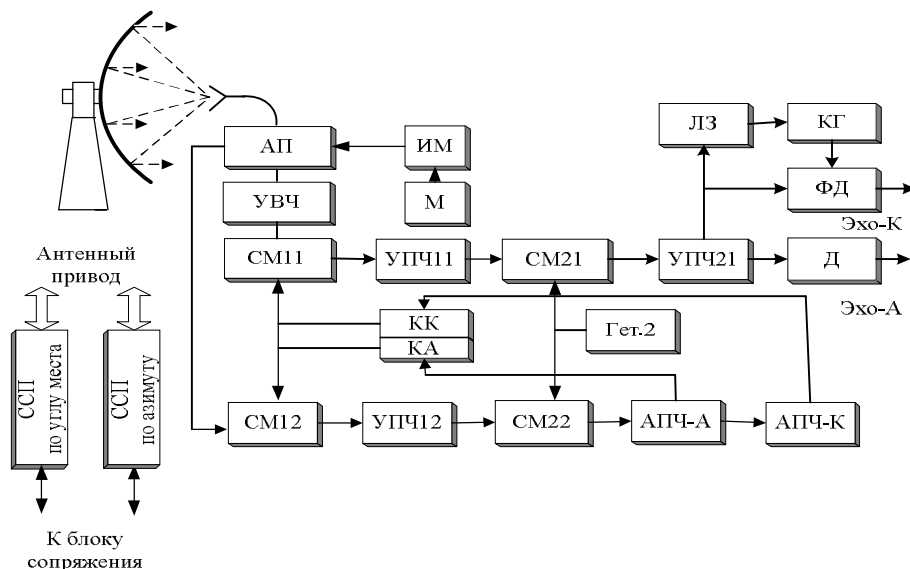


Рис. 2. Структурная схема аппаратуры радиовысотомера

**Антенна.** В штатном режиме работы антенна ПРВ формирует ДН, узкую в угломестной и широкую в азимутальной плоскости, что не удовлетворяет требованиям к максимальной величине разрешаемого

объема. Поэтому штатная антенна вместе с антенной колонкой были заменены. На антенной колонке, позволяющей поворачивать антенну в пределах 360 градусов по азимуту и от -5 до 95 градусов по углу мес-

та, установлена параболическая антенна (рис. 3) диаметром 3 м. Облучатель антенны имеет осесимметрическую ДН. На антенной колонке установлены также ССП по азимуту и углу места, два вращающихся сочленения и датчики углов поворота.



Рис. 3. Зеркальная антенна комплекса

**Использование аппаратуры высотомера в режиме внутренней когерентности.** Использование в составе комплекса дистанционного зондирования штатной аппаратуры ПРВ позволяет работать только в амплитудном режиме. Для обеспечения нормальной работы когерентного режима была проведена модернизация аппаратуры, суть которой состоит в том, что в когерентном режиме сигнал на второй промежуточной частоте подается сразу на вход ФД, а ЛЗ из работы исключается. Фазирование когерентного гетеродина осуществляется сигналом с выхода АПЧ-К. Колебания КГ подаются на второй вход ФД (рис. 4).

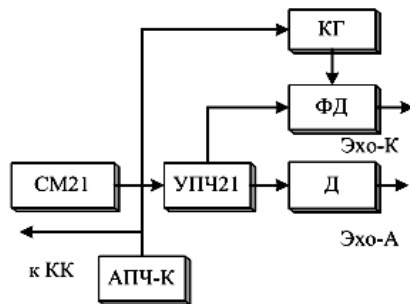


Рис. 4. Схема фазирования когерентного гетеродина

Таким образом, на выходе ФД будут наблюдаться промодулированные частотой Доплера сигналы, отраженные от любых движущихся объектов, в том числе и от метеобразований. Имеющиеся в АПЧ-К регулировки коэффициентов усиления сигнала АПЧ позволяют обеспечить на его выходе после деления уровни, достаточные для нормальной работы и когерентного клистрона (КК) и когерентного гетеродина (КГ). Таким образом, аппаратура высотомера оказывается переведена из режима внешней когерентности в режим внутренней псевдокогерентности. Это позволяет осуществлять дистанционное зондирование метеобъектов, в т.ч. измерение скорости их движения.

**В состав ССП** входят шестеренчатые передачи и два мощных шаговых двигателя с блоками питания. ССП позволяют осуществлять механическое сканирование по азимуту, углу места или по растру в заданном секторе углов

**Датчики угла места и азимута** установлены на горизонтальной и вертикальной механических осях антенны. Значение текущего угла поворота в соответствующей плоскости в цифровой форме через БС передается в ПК, где отображается текущее положение электрической оси антенны.

**Блок сопряжения** обеспечивает порядок прохождения импульсов запуска (ИЗ), отраженных от метеобъектов сигналов, данных об угле положения оси антенны и передачу на ССП команд управления с ПК. Отличие такой структуры от описанной в [6] в том, что ИЗ подаются на ПК, а не наоборот, так что работа всего комплекса синхронизируется ИЗ, вырабатываемыми аппаратурой высотомера. Это связано со сложностью схемы выработки ИЗ и невозможностью подать на нее внешний сигнал без значительных изменений в существующей аппаратуре.

**С помощью ПК** выполняются такие задачи:

- задается сектор углов механического сканирования антенной по азимуту, углу места или растру;
- задается режим записи информации (при сканировании по одной из приведенных выше программ или дистанционном зондировании после установки неподвижной антенны в выбранном угломестном направлении);
- устанавливается шаг и угловая скорость движения антенны;
- отображается вся перечисленная информация, а также текущее положение антенны;
- рассчитываются и отображаются в реальном масштабе времени данные о радиолокационной отражаемости, корреляционных и спектральных параметрах наблюдаемых объектов;
- вычисляется радиальная скорость движения объектов при работе в когерентном режиме.

На рис. 5, 6 приведены примеры задания секторов сканирования с шагом один градус в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также вид экрана ПК в координатах «дальность – высота» при сканировании в вертикальной плоскости. Из рис. 6 видно, что облака имеют два яруса (цветовая насыщенность пропорциональна радиолокационной отражаемости).

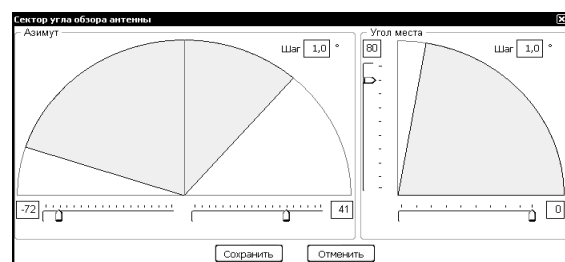


Рис. 5. Пример задания параметров сканирования

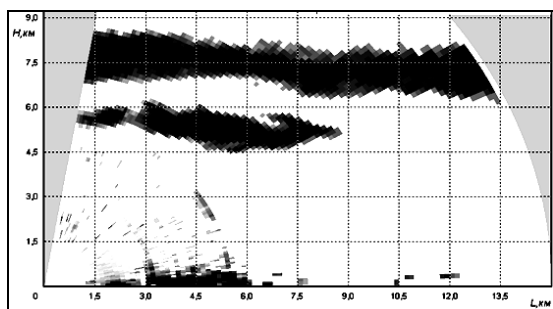


Рис. 6. Вид екрана ПК при скануванні в вертикальній площині

Основні параметри комплексу приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри комплексу дистанційного зондування

№	Параметр	Значення
1	Імпульсна потужність, кВт	500
2	Длительність імпульса, мкс -амплітудний режим -когерентний режим	1,7 1
3	Частота повторення, Гц -амплітудний режим -когерентний режим	400 800
4	Полоса пропускання, МГц	1
5	Лінійний динамічний діапазон, дБ	24
6	Коефіцієнт посилення антени, дБ	43
7	Діаметр антени, м	3
8	Уровень бокових лепестков ДН, дБ	-23
9	Ширина ДН антени по рівню -3 дБ, град	1,1
1	Длина волни, см	4,6
12	Частота дискретизації, МГц	2,5
13	Кількість отсчетов в одній ячейке дальности	4
14	Інтерфейс зв'язі з ПК	RS-232

## Выводы

1. Приведено описание комплекса для дистанционного зондирования метеорологических объектов на основе радиовысотомера с внешней когерентностью.

2. Предложен вариант перевода аппаратуры в режим внутренней псевдокогерентности без затрат и внесения существенных изменений в ее схему, что дает возможность, кроме прочих параметров, измерять скорость движения объектов.

3. Комплекс позволяет в автоматическом режиме осуществлять механическое сканирование антенной, производить запись информации в амплитудном и когерентном режимах работы, обрабатывать ее и отображать в реальном масштабе времени.

## Список литературы

1. Довиак Р. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения: пер. с англ. / Р. Довиак, Д. Зрнич. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 509 с.

2. Differential frequency Doppler weather radar: Theory and Experiment / R. Meneghini, S.W. Bidwell, R. Rincon, G.M. Heymsfield // Radio Science. – 2003. – 8, No. 3. – P. 1-10.

3. Радиовысотомеры ПРВ-9, ПРВ-9А и высотомерная часть РЛС П-40. Техническое описание. – М.: Воениздат, 1968. – 192 с.

4. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации / М.И. Финкельштейн. – М.: Сов. радио, 1973. – 496 с.

5. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

6. Аппаратурно – программный комплекс для исследования отражений от метеорообразований / Е.Н. Белов, О.А. Войтович, Т.А. Макулина, Г.А. Руднев, Г.И. Хлопов, С.И. Хоменко // Радиофизика и электроника. – 2009. – Т. 15, № 1. – С. 57-63.

Поступила в редколлегию 28.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.И. Сухаревский, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ РЛС З ЗОВНІШНЬОЮ КОГЕРЕНТНІСТЮ ДЛЯ РОБОТИ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСУ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ МЕТЕООБ'ЄКТІВ

О.А. Войтович

В роботі наведена структурна схема комплексу дистанційного зондування метеорологічних об'єктів, до складу якого входять апаратура радіовисотоміра. Висотомір у штатному режимі працює з зовнішньою когерентністю. Описані зміни у функціональних зв'язках між вузлами апаратури, що дозволило отримати внутрішній псевдокогерентний режим. Приведена інформація про принципи побудови додаткових пристроїв, призначених для забезпечення автоматичного сканування діаграмою спрямованості антени, запису, обробки та відображення на екрані персонального комп'ютера інформації про радіолокаційну відбиваність, швидкість пересування метеорологічних об'єктів та інших параметрах за вибраною програмою.

**Ключові слова:** дистанційне зондування, внутрішня когерентність, метеорологічний об'єкт.

## MODERNIZING RADARS WITH EXTERNAL COHERENCE RADARS IN ORDER TO FIT THEM INTO A COMPLEX FOR METEOROLOGICAL OBJECTS REMOTE PROBING

O.A. Voitovych

The structure diagram of the radar complex for remote sensing of meteorological objects is considered. The complex is based on radio altimeter with external coherence and the changes of functional scheme are described to provide the pseudo-coherent operation mode. The brief details are cited about operation principles of additional devices that intended for automatic antenna scanning, signal recording and processing, as well as computer screen display of information about radar reflectivity, meteorological path velocity and others parameters according to selected program.

**Keywords:** remote sensing, external coherence, meteorological object.