

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Совершенствование прогнозирования погоды, обеспечение безаварийных полетов самолетов, мониторинг переноса загрязнений в атмосфере невозможны без высокоточных, географически плотных данных о скорости ветра в тропо- и стратосфере с высоким временным разрешением. Обеспечить получение подобных данных может применение радиолокационных станций вертикального зондирования атмосферы (РЛС ВЗ). В подобных станциях используется явление рассеяния радиоволн на турбулентных неоднородностях преломления атмосферы, что делает функционирование аппаратуры независимым от наличия гидрометеоров и обуславливает возможность применения РЛС ВЗ как для решения прикладных задач, так и для научных исследований. Технические аспекты разработки и эксплуатации РЛС ВЗ обобщаются координационной международной комиссией COST 76. Учитывая ее рекомендации, в целях выхода на современный уровень точностных и потребительских параметров с 1992 г. проводится модернизация стратосферно-тропосферной (СТ) РЛС ВЗ Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники.

СТ РЛС представляет собой импульсную доплеровскую моностатическую когерентную РЛС. Ее основные параметры в 1986—1992 гг. были такими:

Рабочая длина волны, м	5
Импульсная мощность, кВт	250
Апертура антенной системы, м ²	2000
Ширина диаграммы направленности, °	6
Диапазон рабочих высот, км	2...14
Разрешение по высоте, м	300; 150
" " времени, мин	2

Подробное описание структуры и параметров станции приведено в [1]. Структура станции, типичная для РЛС ВЗ первого поколения, имела ряд недостатков. В частности:

— система квадратурной обработки сигналов отсутствовала, что приводило к расширению компонентов спектра отраженных сигналов, имеющих близкие к нулю частоты (земная помеха), к сужению рабочего диапазона измеряемых скоростей ветра, увеличению погрешности измерений;

— три фиксированных положения луча диаграммы направленности (ДН) антенны (в зенит и под углом 15° от зенита к западу и северу) не позволяли проводить измерения по пятилучевой схеме (см., например, [2]).

Модернизация СТ РЛС, призванная решить эти вопросы, затронула антенную систему, а также систему приема и цифровой обработки информации.

Введенная в строй в 1997 г. антенная система СТ РЛС представляет собой фазированную антенную решетку квадратного раскрыва размером $60,8 \times 60,8$ м и содержит 256 трехэлементных антенн типа волнового канала. Четыре волновых канала, объединенных с помощью соединительных фидеров и согласующих устройств, образуют излучатель антенной решетки. Вся антенна состоит из восьми рядов по восемь излучателей в каждом ряду. Создание необходимого амплитудно-фазового распределения в раскрытии антенны осуществляется по параллельной схеме. В качестве диаграммообразующей схемы использовано девять матриц Батлера, что позволило сформировать восемь независимых лучей ДН в каждой из ортогональных плоскостей. Пространственная ориентация лучей такова:

Номер луча ДН (л — левый, п — правый)	4л	3л	2л	1л	1п	2п	3п	4п
Отклонение луча от зенита, ... ⁰	-14,97	-9,92	-4,94	0	4,94	9,92	14,90	20,00

Для экспериментального измерения параметров антенны были использованы радиоастрономические методы измерений [4; 5]. Измерения проводились по радиоисточникам Кассиопея А и Лебедь А в июле—августе 1996 и 1997 гг. при суммировании сигнала четырех рядов излучателей. Амплитуда сигнала, принятого при фазировании антенны в зенит, представлена на рис. 1 в относительных единицах. Отражено прохождение двух радиоисточников через ДН по результатам измерений в течение 500 мин (начиная с 21 ч 57 мин) в ночь с 18 на 19 июля 1996 года.

При введении в фидерную систему дополнительного фазового сдвига, обеспечивающего фазирование ДН антенны точно на радиоисточник Кассиопея А, были получены реализации принятого сигнала, аналогичные представленным на рис. 2. Измерения проводились (начиная с 0 ч 08 мин) 15 августа 1997 года. В окрестностях основного пика, соответствующего главному лепестку ДН, различимы небольшие возрастания принятого сигнала, возможно, обусловленные влиянием боковых лепестков ДН. После прохождения радиоисточника выполнялась калибровка приемной системы по генератору шума Г2-32. Отсчеты калибровки показаны в правой части рис. 2.

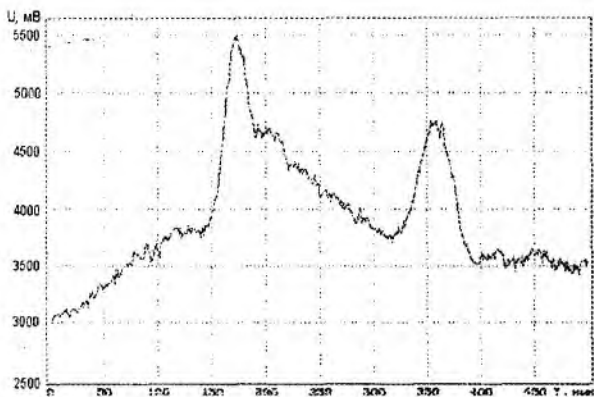


Рис. 1

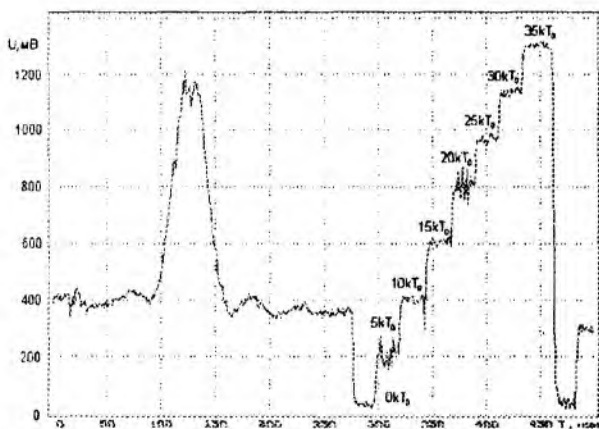


Рис. 2

Цикл измерений (более 30 сеансов по 500 мин каждый) позволил определить коэффициент усиления четырех рядов излучателей $G = 27,8$ дБ. Соответствующая этому значению эффективная апертура антенны $A_{\text{эфф}} = 1340 \text{ м}^2$. Ширина диаграммы направленности в сечении запад—восток по результатам измерений составила примерно $4,4^\circ$. В реализованной конфигурации РЛС четыре ряда излучателей (половина антенного поля) образуют приемную антенну, а другие четыре ряда — передающую.

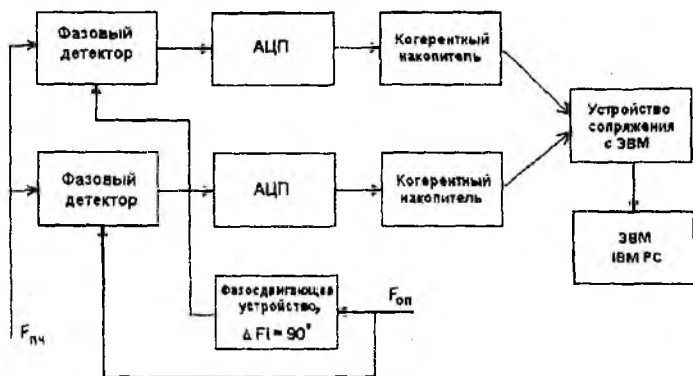


Рис. 3

Структура модернизированной системы цифровой обработки отраженных сигналов, обеспечивающей квадратурную обработку, изображена на рис. 3. Система выполняет квантование по времени (высотным уровням) и дискретизацию сигналов I и Q двух квадратурных фазовых детекторов, накопление (суммирование) выборок квадратурных сигналов, выдачу накопленных сумм в ЭВМ. Использование современной элементной базы позволило при компактных размерах и невысоком энергопотреблении реализовать следующие технические характеристики системы:

Количество независимых каналов обработки	2
" обрабатываемых высот	4...128
" спектральных точек, накапливаемых на каждой высоте	4...512
Разрешение по высоте, мкс (м)	1...8 (150...2400)
Кратность накопления одной спектральной точки	4...1024

С мая 1998 г. в Полевой лаборатории проблемной НИЛ радиотехники ХТУРЭ, имеющей координаты $49^\circ 24'$ с.ш., $30^\circ 51'$ в.д., проводились пробные измерения скорости ветра на СТ РЛС с модернизированными антенной системой и системой цифровой обработки сигналов. Необходимо отметить, что применение квадратурной обработки сигналов позволило увеличить максимальную высоту зондирования H до 15...16 км. При этом профили скорости ветра V обнаруживают достаточно малые вариации от сеанса к сеансу зондирования. На рис. 4 представлены последние четыре профиля скорости ветра, полученные 27 мая 1998 г. при использовании квадратурной обработки сигналов (рис. 4, а) и старой системы с одним каналом приема (рис. 4, б). Время начала измерений — 21 ч 14 мин и 22 ч 32 мин соответственно.

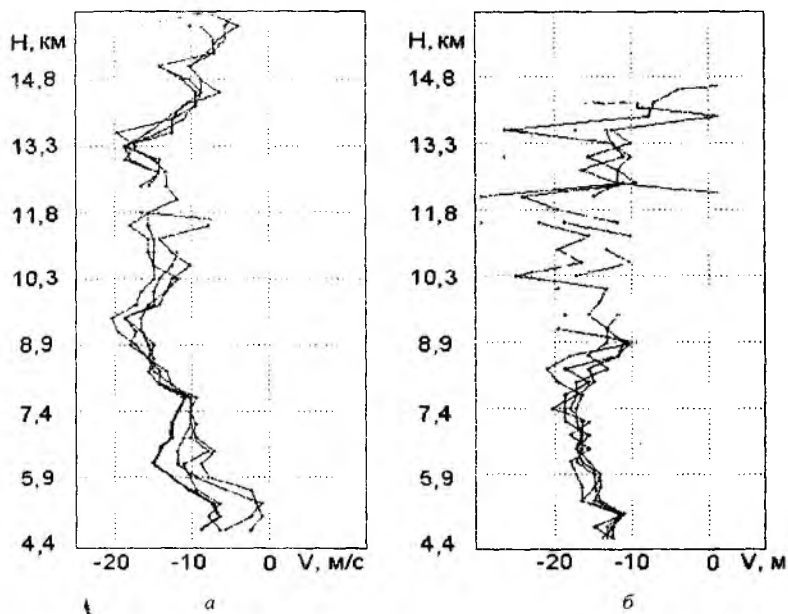


Рис. 4

Для калибровки станций ВЗ и оценки достоверности и точности получаемой информации наиболее широко используют метод сравнения с радиозондом [6; 7]. Такие совместные измерения были проведены для СТ РЛС и станции аэрологического зондирования, расположенной в Харьковском аэропорту. Расстояние между точками измерений составляет около 75 км. При таком пространственном разнесении только усредненные характеристики ветрового поля могут обнаруживать достаточно высокую корреляцию. Однако результаты измерений показывают удовлетворительное соответствие как модуля скорости ветра V (рис. 5, а), так и направления ветра φ (рис. 5, б) по данным для СТ РЛС и радиозонда.

Возможно, это связано с удачным для данного конкретного случая (измерения проводились с 0 ч 00 мин по 3 ч 00 мин 24 июня 1998 г.) направлением перемещения воздушных масс — от места пуска радиозонда к расположению РЛС.

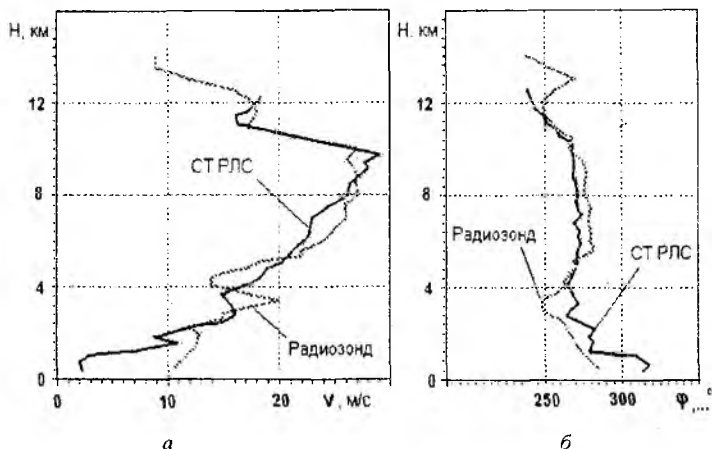


Рис. 5

В заключение следует отметить, что даже частичная модернизация комплекса СТ РЛС обеспечила существенное улучшение его характеристик. Проверено соответствие расчетных и реальных параметров антенной системы. Сравнительные измерения при использовании квадратурной обработки сигналов и без нее свидетельствуют о расширении после модернизации диапазона рабочих высот на 1—2 км, о получении более плотных и устойчивых профилей ветра от сеанса к сеансу. Вместе с тем совместные измерения СТ РЛС и станции аэрологического зондирования, показавшие высокую корреляцию данных, должны быть выполнены при различных метеоусловиях для повышения статистической обеспеченности проводимой верификации комплекса.

Список литературы: 1. *Исследования атмосферных динамических процессов в нижней тропосфере и тропо-стратосфере* / Б.Л. Кащеев, В.В. Жуков, В.Н. Олейников и др. // *Метеор. исслед.* 1988. № 14. С. 19 — 39. 2. *Griesser T., Richner H. Different Processing techniques for moment data for a 5 beam configuration, elimination of clutter and bird contamination* // *COST-76 profiler workshop 1997 extended abstracts. Engelberg, 1997. Vol. 1. P. 15 — 19.* 3. *Мирков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны.* М.: Энергия, 1975. 528 с. 4. *Кузьмин А.Д., Саломонович А.Е. Радиоастрономические методы измерения параметров антенн.* М.: Сов. радио, 1964. 184 с. 5. *Фарадин А.З., Рыжков Е.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств.* М.: Связь, 1972. 352 с. 6. *Winds derived from radar measurements in the Arctic troposphere and stratosphere* / В.В. Balsley, N. Cianos, D.T. Farley, M.J. Baron // *J. Appl. Meteorol.* 1977. N 16. P. 1235—1239. 6. *Czechowsky P., Schmidt G., Ruster R. The mobile SOUSY — doppler radar — technical design and first results* // *Handbook for MAP. Urbana, Illinois, 1983. Vol. 9. P. 433 — 446.*

Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 27.07.98