

Б. Л. КАЩЕЕВ, д-р техн. наук, *В. Н. ОЛЕЙНИКОВ*, канд. техн. наук,
Н. И. СЛИПЧЕНКО, канд. техн. наук, *Г. В. НЕСТЕРЕНКО*, канд. техн. наук,
О. А. СОЛЯНИК, канд. техн. наук, *С. Ф. СЕМЕНОВ*, *Л. П. ТАТАРЕЦ*, *В. М. БАЙДАК*

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ВЕТРОВОЙ ПРОФИЛОМЕТР «ХАРЬКОВ»

Данные о ветровом режиме, получаемые на станциях аэрологического зондирования, не удовлетворяют современным требованиям метеорологии и её практическим приложениям. Невысокая частота запусков и, соответственно, низкое временное разрешение получаемых данных, их высокая стоимость, а также необходимость присутствия персонала при измерениях составляют основные недостатки метода. На сегодняшний день существует альтернативный метод получения данных о скорости и направлении ветра в тропо- и стратосфере – это атмосферные РЛС вертикального зондирования, или ветровые профилометры (ВП). Такие станции обеспечивают получение метеорологической информации в реальном масштабе времени, высокую точность, необходимое высотное и временное разрешение, вертикальный диапазон высот, являясь совершенным инструментом как для прикладных задач, так и для научных исследований.

Ветровые профилометры позволяют исследовать:

- средний ветер (зональную, меридиональную и вертикальную составляющие); крупномасштабные атмосферные процессы: циклоны, прохождение атмосферных фронтов, гроз и т.д.);
- мелкомасштабные процессы (конвекция, вихревые движения, термики и т.д.);
- струйные течения;
- планетарные и гравитационные волны (длины волн, распределение фазовых скоростей, направление распространения, торможение и область возникновения волн);
- атмосферные приливы;
- турбулентность в свободной атмосфере и ее связь с гравитационными волнами и приливами;
- распределение кинетической энергии в атмосфере, выявление связей между солнечной активностью и процессами в тропосфере.

Физические принципы, положенные в основу функционирования этих станций, позволяют проводить непрерывные круглосуточные измерения, независимо от погодных условий.

От использования ВП в исследовательских целях многие страны перешли к созданию постоянно функционирующих сетей ветровых профилометров. Так, в США в начале 90-х годов введена в строй сеть NPN (NOAA Profiler Network), состоящая из 32 профилометров дециметрового диапазона. Она покрывает территорию 17 центральных штатов. Результаты измерений автоматически каждый час передаются по каналам связи национальной погодной службе NWS, поступают в Европейский центр прогнозирования погоды ECMWF и в сеть INTERNET для общего пользования. Во Франции развернута сеть из пяти передвижных ВП. Национальные сети и отдельные ВП часто объединяются под эгидой международных проектов.

Остановимся на принципах, лежащих в основе работы ВП. Исследования, выполненные в 50-х годах в диапазоне ВЧ и СВЧ, показали, что турбулентные и слоистые неоднородности диэлектрической проницаемости атмосферы при ясном небе могут давать устойчивые радиолокационные отражения в тропосфере и стратосфере. Они возникают в тех случаях, когда происходит отражение от относительно резких горизонтальных границ, разделяющих области с различными коэффициентами преломления (френелевское отражение), или путем рассеяния на турбулентных неоднородностях атмосферы, вызывающих флуктуации коэффициента преломления. Интенсивность турбулентных процессов в атмосфере определяет отражательную способность среды. Отраженный сигнал получается наибольшим на пространственных структурах, определяемых частотой Брэгга, размер которых, в случае вертикального зондирования, равен $\lambda/2$. Отраженный сигнал формируется пространственными неоднородностями, которые заполняют импульсный объем, образованный диаграммой направленности (ДН) антенны и весовой функцией по дальности, определяемой длительностью и формой излучаемого импульса. Принятая мощность определяется выражением [1]:

$$P_p = \frac{P_u A_{эф}^2 \sigma_0}{4\pi \lambda^2 r^4}, \quad (1)$$

где P_u – мощность излученного радиоимпульса; $A_{эф}$ – эффективная площадь антенны;

λ – длина рабочей волны; r – расстояние до отражающего объекта; σ_0 – эффективная площадь поперечного сечения отражающего объекта.

Поперечник рассеяния

$$\sigma_0 = \sigma_V \cdot V_u, \quad (2)$$

где σ_V – эффективная площадь поперечного единичного объема, которая выражается следующим образом [2]:

$$\sigma_V = 0,38 C_n^2 / \sqrt[3]{\lambda}, \quad (3)$$

V_u – значение импульсного объема, от которого эхо-сигнал приходит к радиолокатору, определяемое выражением [3]:

$$V_u = \frac{r^2 \pi^2 \lambda^2 c \tau_u}{16 A_{эф} 2}. \quad (4)$$

Отражающая способность турбулентных неоднородностей характеризуется структурной характеристикой C_n^2 , которая зависит от таких параметров атмосферы, как температура, давление, влажность, их высотных градиентов, а также состояния атмосферы, которое зависит от градиентов скорости и коэффициента турбулентного обмена. Типичные значения C_n^2 для тропосферы составляют $10^{-13} \dots 10^{-19} \text{ м}^{-2/3}$.

Рабочая частота ВП, предназначенных для исследования тропо-стратосферы, с точки зрения физики образования рассеянного сигнала, определяется инерциальной областью и может находиться в диапазоне 30...500 МГц. Для мобильного варианта аппаратуры целесообразно использовать диапазон частот 400...500 МГц. При этом возникают проблемы электромагнитной совместимости, поскольку, указанный диапазон частот совпадает с диапазоном частот, используемых системами телевизионного вещания и связи.

Для излучения и приема сигналов используется антенная система с узкой осесимметричной ДН, направленной в зенит либо под небольшим углом к зениту. Измерение полного вектора скорости ветра требует использования трех попеременно включаемых фиксированных положений ДН антенны – вертикального положения и двух наклонных – на запад и на север. Излучаемая РЛС последовательность зондирующих импульсов отражается от атмосферных неоднородностей. Эти неоднородности перемещаются с преобладающим ветром, в результате чего отраженный сигнал получает доплеровский сдвиг частоты, который зависит от длины волны РЛС λ и радиальной скорости ветра V_r , величина которой, в свою очередь, зависит от угла наклона ДН:

$$V_r = V \sin \beta,$$

где V – горизонтальная скорость ветра; β – зенитный угол наклона ДН антенны.

Доплеровский сдвиг частоты составляет, как правило, единицы герц при скоростях ветра, реально существующих в тропосфере и нижней стратосфере. Высотная привязка результатов измерений осуществляется на основе измерения временной задержки между излученным и принятым сигналом.

Слабая отражающая способность неоднородностей коэффициента преломления атмосферы вынуждает использовать мощные передающие устройства и антенные системы с относительно большой апертурой. Система приема и обработки сигналов обеспечивает работу станции при соотношении сигнал/шум менее единицы. Принятый сигнал подвергается процедуре когерентного накопления и осуществляется в цифровой форме после аналого-цифрового преобразования отраженного сигнала с выхода приемного устройства. Выделение сигнальной составляющей спектра и определение ее параметров – параметризация спектра осуществляется с помощью специальных алгоритмов. В результате параметризации определяются доплеровский сдвиг частоты отраженного сигнала, соответствующий радиальной скорости ветра на данной высоте, и спектральная ширина спектра скорости ветра. Полученные таким образом с каждой исследуемой высоты и направления данные образуют профиль скорости и направления ветра.

Разработанный в Проблемной научно-исследовательской лаборатории радиотехники (ПНИЛ РТ) Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники радиолокационный ветровой профилометр «Харьков» представляет собой доплеровскую когерентную импульсную РЛС дециметрового диапазона длин волн. Эта разработка является единственной в Украине и в странах СНГ. Ранее коллективом ПНИЛ РТ была изготовлена и эксплуатировалась высокопотенциальная

стационарная аппаратура метрового диапазона длин волн для исследования атмосферных процессов в тропо- стратосфере, в высотном диапазоне 1.8–14.0 км [4].

Аппаратура радиолокационного ветрового профилометра позволяет измерять профиль полного вектора скорости ветра на высотах от 900 м до 9.0 км непосредственно над местом расположения РЛС. Высотное разрешение составляет 150...300 м, а время получения одного профиля – от единиц до десятков минут, что определяется временем некогерентного накопления спектров отраженных сигналов.

Функциональная схема радиолокационного ветрового профилометра представлена на рис.1. Центральным звеном ВП является управляющая ЭВМ, под управлением и контролем которой находятся все аппаратурные средства передающей и приемной систем.

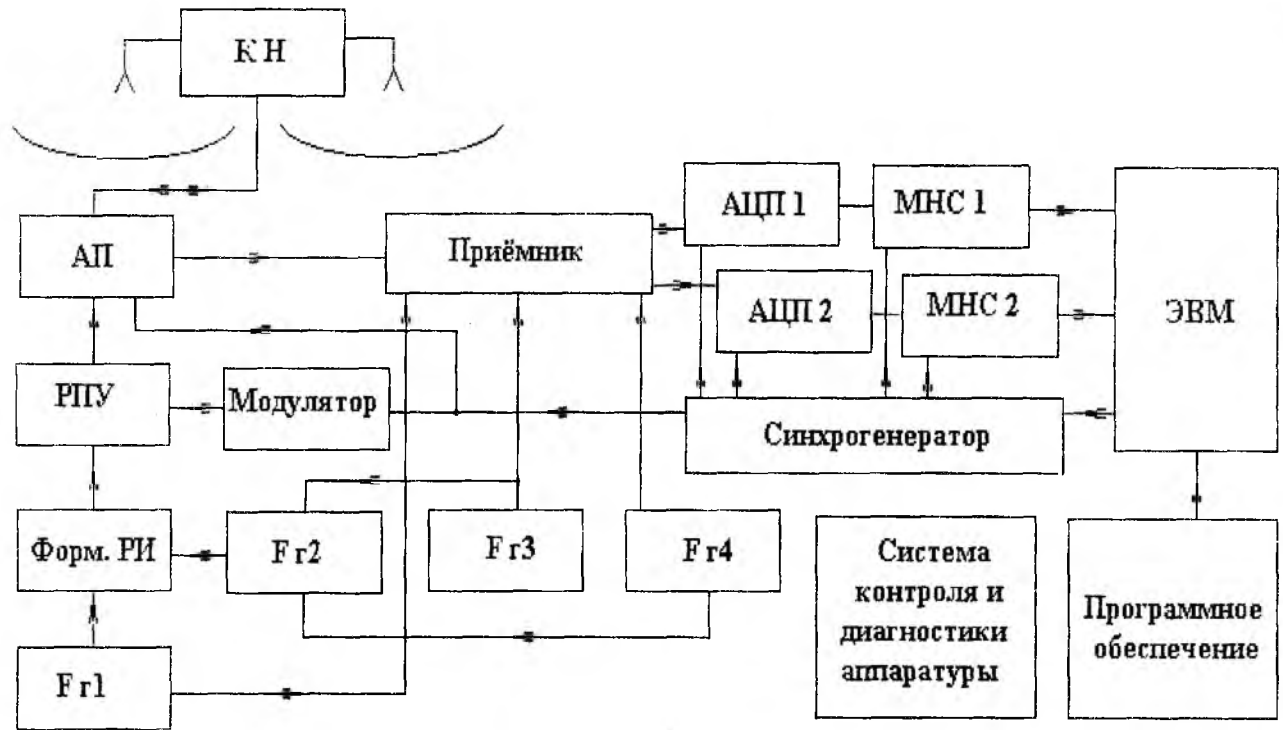


Рис. 1

Антенная система станции состоит из двух параболических зеркальных антенн. Каждая из антенн обладает осесимметричной диаграммой направленности. Антенны работают в азимутах 0° , 90° с отклонением от зенита 8° . Уровень подавления первого бокового лепестка не менее 24 дБ. Каждая из антенн через коммутатор направления (КН) излучения и антенный переключатель (АП) прием-передача подключается к выходу передатчика или ко входу приемного устройства. В РЛС используется передатчик с суммированием мощности двух выходных каскадов с помощью моста сложения. Передающее устройство (РПУ) работает в импульсном режиме. Модулятор формирует видеоимпульсы необходимой мощности для питания возбuditеля и усилителя мощности передающего устройства. Формирование зондирующего сигнала осуществляется в формирователе радиоимпульсов (Форм. РИ) на относительно низком уровне мощности. Структура приемной части комплекса мало зависит от энергетического потенциала и определяется требованиями обеспечения максимального соотношения сигнал/шум. Это достигается согласованием полосы пропускания приемного устройства с длительностью зондирующих импульсов передатчика и снижением коэффициента шума малошумящего антенного усилителя. В ВП обеспечена когерентность гетеродинных напряжений приемного и передающего трактов, что необходимо для их когерентного накопления сигналов при обработке. Приемное устройство ВП – супергетеродин с двойным преобразованием частоты. Система формирования опорных частот генерирует набор колебаний высокостабильных когерентных частот, необходимых для работы радиотехнических устройств и синхрогенератора. В качестве гетеродинов при приёме используются те же стабильные генераторы, что и при формировании несущей частоты зондирующего сигнала ($F_{г1}$, $F_{г2}$, $F_{г3}$, $F_{г4}$). Такая методика формирования когерентных сигналов позволяет измерять

доплеровские фазовые сдвиги с необходимой степенью точности. Синхрогенератор обеспечивает совместную работу всех устройств путем формирования управляющих сигналов в соответствии с программой работы комплекса. С выхода преобразователя приемника принимаемые отраженные сигналы подаются на вход усилителя промежуточной частоты. Усиленный сигнал подается на квадратурный канал обработки, включающий фазовые детекторы и когерентный гетеродин опорной частоты $F_{гг}$. Сигнал с выходов квадратурных фазовых детекторов приемного устройства поступает на вход двух десятиразрядных АЦП, а далее – на многоканальные накапливающие сумматоры (МНС), производящие когерентное накопление отраженных сигналов на всех исследуемых высотных уровнях. Съем данных в ЭВМ осуществляется через контроллер связи с ЭВМ. Режимы работы и параметры устройств РЛС могут в широких пределах изменяться и управляться с помощью ЭВМ в процессе проведения экспериментов. Расчет спектральных характеристик принятых сигналов производится с помощью программных средств управляющей ЭВМ. По окончании обработки производится документирование и оперативное графическое отображение получаемой информации. Контроль параметров и диагностика неисправностей основных узлов аппаратуры профилометра осуществляется в процессе эксплуатации программно-аппаратными средствами.

Разработанный радиолокационный ветровой профилометр имеет следующие характеристики:

Рабочая частота, МГц	490
Импульсная мощность, кВт	5
Средняя мощность, кВт	0,5 (проект)
Длительность парциального зондирующего импульса, мкс	1, 2
Число элементов ФМ сигнала	2, 4, 8 (проект)
Скважность	10-100
Диаметр параболической антенны, м	5,5
Ширина ДН по половинной мощности, град	6
Угол отклонения ДН от зенита, град	8
Число лучей ДН	2 (проект)
Высотное разрешение, м	150, 300
Диапазон измеряемых скоростей ветра, м/с	-50 ...+50
Диапазон измеряемых направлений ветра, град	0-360
Высотный диапазон измерения профиля скорости ветра, км	0,9-9,0
Время получения профиля скорости ветра, мин	1-10

При обработке и интерпретации результатов измерений, получаемых на ветровых профилометрах, весьма важной является проблема "загрязнения" сигнала, рассеянного турбулентными неоднородностями, отражениями от наземных объектов. При этом определяющим является выбор конструкции антенной системы и ее местоположение. Остановимся на особенностях использования в ветровых профилометрах параболических антенн.

В значительной степени энергетический потенциал, в также и стоимость всего профилометра определяет антенная система. С точки зрения получения достоверной информации о ветровом режиме из анализа принятого сигнала ширина луча ДН антенны должна быть $\leq 5^\circ$, т.к. при выполнении этого условия эффекты ширины луча не сказываются на оценках измеряемой скорости. Область излучения однозеркальных параболических антенн можно разделить на две области: область главного лепестка ДН и область, охватывающую боковые и задние лепестки – область рассеивания. Если не принимаются меры к снижению уровня боковых лепестков, то коэффициент рассеяния для однозеркальной параболической антенны с оптимальным уровнем облучения составит 0,3-0,5. При этом от 30 до 50 % мощности изотропного излучения поступает в антенну через область рассеяния. Главный лепесток ДН профилометра ориентирован в зенит или под углами близкими к зениту. Отражательная способность наземных объектов много больше отражательной способности турбулентных неоднородностей атмосферы и, таким образом, мощность, рассеянная наземными объектами и принятая боковым лепестком, может превышать мощность, пришедшую из направления главного лепестка ДН. Эти неблагоприятные условия особенно ощущаются, если антенны приподняты над Землей (располагаются на крыше здания). В этом случае кроме влияния бокового лепестка в секторе углов $0 \dots -15^\circ$ от горизонта будут влиять и более дальние боковые лепестки.

Основными методами уменьшения влияния лепестков ДН, находящихся под малыми углами к горизонту, являются:

- установка экрана по периметру параболической антенны;
- размещение антенной системы на поверхности Земли и использование естественных экранирующих ограждений, таких как стены зданий.

В обычной зеркальной антенне источником бокового излучения является первичный облучатель и кромка зеркала. Чем выше уровень облучения кромки зеркала, тем выше амплитуда возбуждаемой краевой волны. Существенное влияние имеет глубина зеркала.

При наличии цилиндрического экрана уровень освещения внешней кромки экрана будет меньше уровня освещения кромки зеркала. Следовательно, будет уменьшена амплитуда краевой волны, вносящей основной вклад в боковое излучение антенны в задней полусфере. Использование цилиндрического экрана по периметру зеркала приводит к тому, что все переотраженные волны от внутренней стороны зеркала и экрана излучаются только в переднее полупространство.

Антенная система разработанного профилометра установлена на поверхности Земли между стенами зданий, при этом происходит переотражение, как и в случае с цилиндрическим [5] экраном вокруг зеркала, в переднюю полусферу, так и поглощение падающей энергии в стенах самих зданий. Размещение антенны на поверхности Земли повышает помехоустойчивость ВП.

Отражающая поверхность параболоида диаметром $D=5,5$ м и фокусным расстоянием $F=2,2$ м представляет собой сетку с размером ячейки около $0,1\lambda$. В качестве облучателя параболической антенны используется волновод квадратного сечения, который возбуждается вибратором, подключенным к жесткой коаксиальной линии с использованием согласующих трансформаторов. Жесткая коаксиальная линия является несущей опорой облучателя. Отклонения луча ДН на 8° от зенита осуществлено механическим наклоном зеркала.

Антенный переключатель ВП собран по балансной схеме. В качестве переключающих элементов в антенном переключателе используется группа р-і-п диодов. Управляющий ток на р-і-п диоды подается через полуволновые отрезки линии, длина которых выбирается таким образом, чтобы происходила компенсация паразитных реактивностей.

Передающее устройство ВП выполнено на базе промышленного передающего устройства, предназначенного для усиления непрерывного сигнала со средней мощностью около 500 Вт. Перевод каскадов в импульсный режим работы и доведение импульсной мощности до 5 кВт потребовал схемных и конструктивных доработок, а также изменения некоторых параметров питающих напряжений. Использование одной антенны на передачу и прием отраженных сигналов накладывает определенные условия на параметры формируемых передатчиком радиоимпульсов; прежде всего это относится к шумам в межимпульсной промежутке, поскольку шумовые свойства мощных генераторных ламп, как правило, не нормируются. В связи с этим при разработке узлов профилометра потребовалась реализация ряда мер, направленных на существенное снижение уровня шумов и коммутационных помех на выходе радиопередающего тракта в межимпульсных промежутках. С этой целью в первых каскадах передатчика была реализована импульсная анодная модуляция, а в предоконечных и окончательных каскадах применена так называемая система управления динамическим режимом каскадов. При использовании антенного переключателя она обеспечила увеличение развязки между выходом передающего устройства и узлами приемного тракта в режиме приема, кроме этого обеспечено увеличение коэффициента усиления по мощности каскадов передатчика, снижение средней потребляемой мощности выходного и предоконечного каскадов.

Шумовые составляющие в спектре отраженного сигнала можно разделить на пассивные и активные. Пассивные компоненты воздействуют на приемную систему при отключенном передатчике. Это: шумы антенной системы и радиоприемного устройства, шумы космических источников, поверхности и атмосферы Земли, помехи от искусственных источников (передатчики телевидения, радио и т.д.). Активные компоненты образуются при рассеянии и отражении излученного РЛС сигнала от нежелательных целей. Как правило, это стационарные и мобильные объекты на поверхности Земли.

Для подавления некоторых видов перечисленных помех в аппаратуре вертикального зондирования атмосферы применена череспериодная компенсация (ЧПК), которая осуществляется в накапливающем сумматоре в цифровой форме. Для организации ЧПК в аппаратуре ВП предусмотрено изменение на π фазы зондирующего сигнала с поступлением очередного импульса запуска передатчика. синхронно с этим изменяется и фаза гетеродинного напряжения приемника на π . Таким образом, отраженный от турбулентных неоднородностей сигнал не претерпевает изменений фазы от периода к периоду, а внешний сигнал помехи с частотой, близкой к частоте несущей, будет компенсироваться в накапливающем сумматоре. Череспериодная компенсация является весьма эффективным средством

для борьбы с внутрисистемными помехами, позволившая компенсировать паразитные спектральные составляющие в гетеродинных напряжениях.

Когерентное накопление усиленных радиоприемным устройством профиломера сигналов осуществляется аппаратными средствами – специализированным многоканальным накапливающим сумматором. Когерентное накопление обеспечивает повышение соотношения сигнал/шум и осуществляет низкочастотную фильтрацию выборочной последовательности отсчетов фазы. Накопление представляет собой операцию вычисления N арифметических сумм значений отсчетов, пропорциональных начальной фазе принимаемого сигнала для каждой из K обрабатываемых высот в двух квадратурных каналах. Операция накопления производится N раз для получения N точек спектрального анализа.

Определение спектральной плотности мощности (СПМ) отраженного сигнала производится по двум квадратурным последовательностям s_i усредненных и сглаженных выборок сигнала. Эта и последующие процедуры обработки осуществляются программными средствами. Для повышения статистической точности определения параметров спектра СПМ усредняется. Усреднение СПМ эквивалентно некогерентному накоплению и приводит к повышению соотношения сигнал/шум в \sqrt{M} раз при кратности усреднения спектров M .

Одним из наиболее важных этапов первичной обработки сигналов является параметризация СПМ с целью получения оценок искомым параметров отраженного сигнала – доплеровского сдвига частоты и спектральной ширины. Наиболее часто в ветровых профилометрах используется метод центра тяжести или моментный метод. Форма полезной составляющей спектра, обусловленная отражением зондирующего сигнала от неоднородностей коэффициента преломления атмосферы, при отсутствии шума может быть описана с помощью функции Гаусса и полностью определяется своими первыми тремя моментами: величиной P – мощности, Ω – центральной частоты и σ – спектральной ширины сигнала. Величины P , Ω и σ содержат информацию об отражающей среде и являются оценками интенсивности турбулентности, доплеровского сдвига частоты и дисперсии скорости ветра. В программном обеспечении разработанного профилометра применяются оценки, основанные на использовании априорных данных о гауссовой форме спектра отраженного от неоднородностей сигнала. Такие оценки получаются по методу наименьших квадратов с аппроксимирующей функцией в виде кривой Гаусса. Суть метода состоит в минимизации выражения ошибки

$$\Delta^2 = \sum_{j=1}^N [S'(\omega_j) - S(\omega_j, P, \Omega, \sigma)]^2 \quad (5)$$

путем вариации параметров P , Ω и σ . Такой алгоритм обеспечивает оценку максимального правдоподобия. Единичные оценки скорости ветра и спектральной ширины затем подвергаются процедурам вторичной обработки для повышения достоверности и исключения недостоверных данных.

Перейдем к рассмотрению экспериментальных результатов, полученных на ветровом профилометре. Зондирование атмосферы осуществлялось с использованием простого сигнала $\tau = 2$ мкс при скважности $q = 40$, т. е. с учетом потерь в фидере подводимая средняя мощность к антенне составила около 80 Вт. Характерной особенностью отраженного сигнала, наблюдаемого на профилометре с относительно низким энергетическим потенциалом, является то, что он практически сразу после зондирующего импульса находится под шумами. На рис. 2 приведен спектр доплеровских вариаций рассеянного сигнала на высоте 4,16 км. Спектр получен методом быстрого преобразования Фурье, после обработки реализации сигнала, прошедшего предварительное когерентное накопление. Время накопления реализации входного сигнала составило около 6 секунд. В данном спектре присутствуют компоненты, обусловленные шумом и атмосферной турбулентностью. Практически отсутствуют компоненты на частоте несущей, что говорит о достаточно хорошей компенсации отражений от земных объектов.

На рис. 3 приведен профиль мощности рассеянного сигнала, усредненный за 10 минут наблюдений (кратность некогерентного накопления $M = 64$) при зенитном угле ДН 8° . Общий диапазон изменения мощности сигналов около 60 дБ, т. е. скорость затухания рассеянного сигнала в тропосфере составляет более 6 дБ/км. Следует отметить, что на высоте 0,9 км отношение сигнал/шум на выходе фазового канала приемного устройства около единицы.

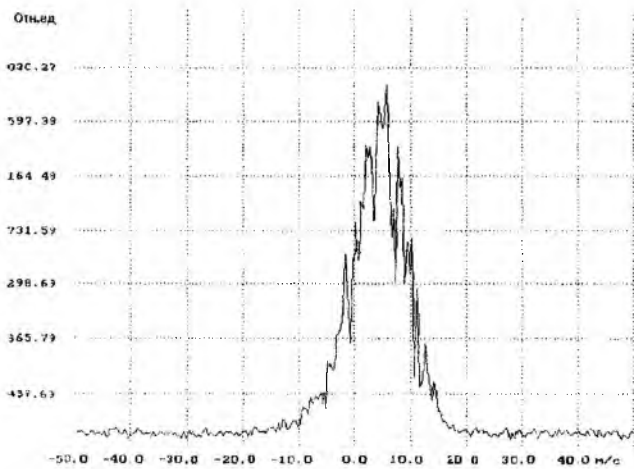


Рис. 2

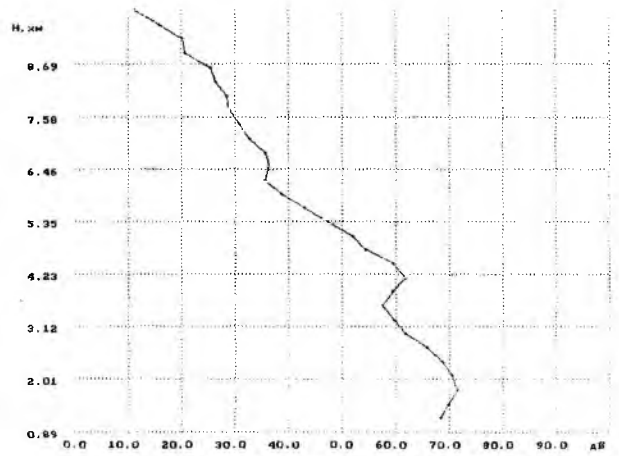


Рис. 3

На рис. 4 представлен профиль спектральной ширины спектра скоростей, обусловленных турбулентными неоднородностями атмосферы. По значению спектра скоростей σ_v , с учетом размеров рассеивающего объема, могут быть получены количественные оценки турбулентности в терминах скорости диссипации кинетической энергии ϵ .

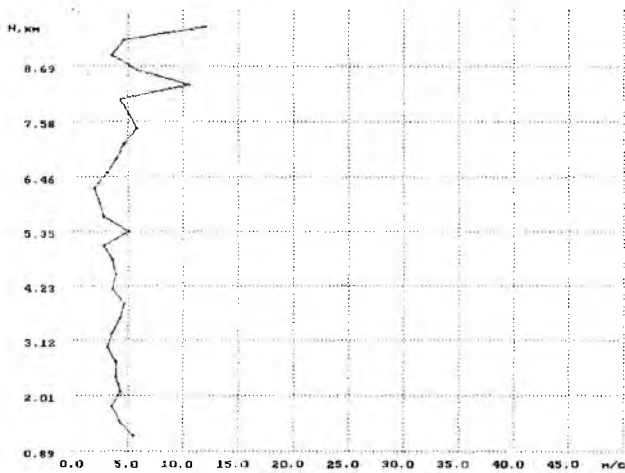


Рис. 4

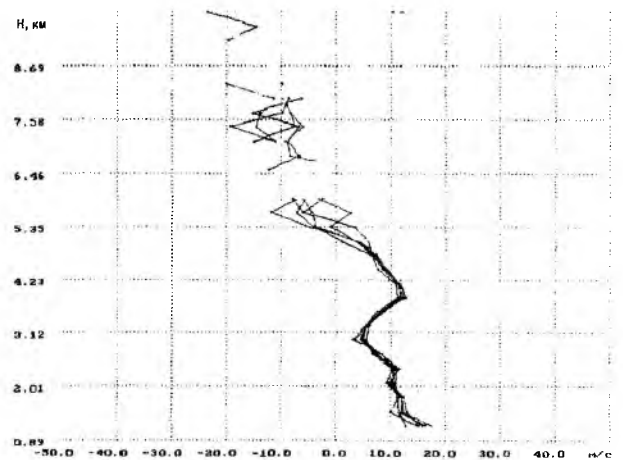


Рис. 5

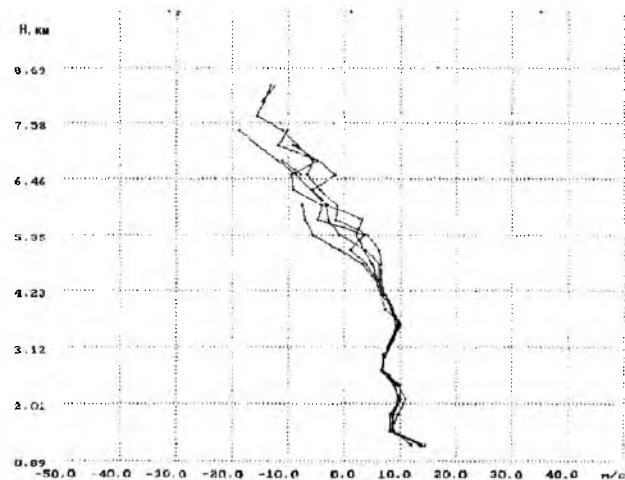


Рис. 6

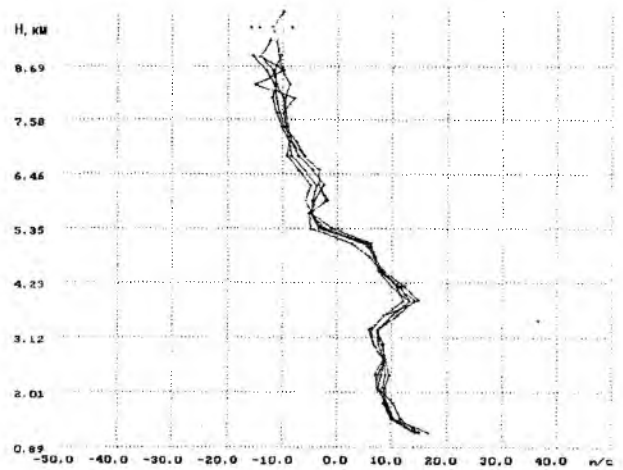


Рис. 7

На рис. 5–7 представлены профили меридиональной составляющей скорости ветра, полученные при различных значениях кратности некогерентного накопления СПМ 6 апреля 2001 г. с 15 ч. 02 мин.

до 16 ч. 46 мин. Кратность некогерентного накопления СПМ, время получения одного профиля скорости ветра и высота достоверно измеренной скорости ветра соответственно равны:

$M = 1$; $T = 10$ сек; $H = 6,0$ км (рис.5); $M = 8$; $T = 80$ сек; $H = 7,5$ км (рис. 6);

$M = 64$; $T = 640$ сек; $H = 9,2$ км (рис.7).

Следует отметить, что максимальная высота измерения скорости ветра определяется уровнем рассеянных сигналов, который, в свою очередь, зависит от влажности воздуха и интенсивности турбулентных процессов в атмосфере. За относительно небольшой период эпизодических наблюдений (около одного месяца) максимальные высоты измерения скорости ветра лежали в пределах 6.0–9.2 км

В радиолокационном ветровом профилометре реализовано измерение меридионального компонента скорости ветра, находится в стадии отладки система формирования зондирующего импульса и обработки отраженного фазоманипулированного (ФМ) сигнала. Дооснащение аппаратуры оборудованием для измерения зопальной компоненты и системой обработки ФМ сигнала, позволит получать информацию о динамических атмосферных процессах и расширить высотный диапазон исследования атмосферы.

Список литературы: 1. *Справочник по радиолокации* / Под ред. М. Скольника. М.: Сов. Радио, 1976. Т.1 455 с. 2. *Довиак Р., Зрич Д.* Доплеровские локаторы и метеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 503 с. 3. *Казаков Л.Я., Ломакин А.Н.* Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере. М.: Наука, 1976. 164 с. 4. *Кащеев Б.Л., Олейников В.Н.* Стратосферно-тропосферная радиолокационная станция для исследования атмосферных динамических процессов // *Глобальная система метеорных наблюдений. Картографирование синоптических процессов в метеорной зоне.* М.: ВИНТИ.1987.С. 39-53. 5. *Нарбут В.П.* О влиянии противофоновых отражающих экранов на боковое излучение зеркальных антенн // *Радиотехника и электроника.* 1976. Т. 21, № 10. С. 2205-2210.

Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 14.05.2001