

УДК 621.396

*Б. Г. БОНДАРЬ, М. И. ГУРТОВОЙ, Б. Л. КАШЕЕВ, В. В. БЕЛОУС,
И. И. ПЕТРОВ, В. Н. АНОСОВ, В. Н. БЕСЕДИН, А. В. ВАСИЛЕНКО*

**МОДУЛЬ АНТЕННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ**

Измерение скорости ветра в тропосфере и стратосфере можно производить радиометодом, излучая вертикально вверх или под углом места около 75° поток энергии на одной из частот в диапазоне

УКВ. Используя когерентное рассеяние по доплеровскому смещению частоты, находят зональную, меридиональную и вертикальную составляющие скорости дрейфа неоднородностей, затем рассчитывают вектор скорости [1].

Обсуждаются некоторые аспекты одного из возможных вариантов решения антенного устройства. Без учета нелинейных явлений в рассеивающем объеме мощность принятого сигнала пропорциональна первой степени мощности передатчика и квадрату коэффициента направленного действия приемно-передающей антенны. Использование одной приемно-передающей антенны, а не отдельно приемной и передающей антенн, оправдано прежде всего тем, что в этом случае более надежно обеспечивается совпадение рассеивающих объемов, охватываемых главным лепестком диаграммы направленности при передаче и при приеме. Это особенно существенно в случае измерения горизонтальных составляющих скорости движения неоднородностей по доплеровскому смещению частоты, для чего необходимо отклонение главного лепестка от зенита на некоторый угол. Положение усугубляется по мере увеличения апертуры антенны и уменьшения ширины главного лепестка. Имеющиеся экспериментальные данные [1—3] свидетельствуют о том, что близкий к оптимальному вариант антенного устройства измерительного комплекса — приемно-передающая антенна в виде плоской горизонтальной синфазной решетки квадратной (или близкой к круглой) формы площадью порядка 10^4 — $2 \cdot 10^4$ м². При средней мощности передатчика около 50 кВт это обеспечивает получение данных до высот порядка 30 км [1; 2]. Дальнейшее значительное увеличение размеров антенны кроме увеличения затрат ведет к усложнению фазирования излучателей решетки, а главное — к увеличению высоты, на которой можно считать сформированной диаграмму направленности антенны. Уже при размере стороны решетки $L = 100$ м и длине волны $\lambda = 6$ м эта высота $H_{\text{мин}} \geq \sqrt{\lambda L} = 1700$ м. Возможно также разрушение диаграммы направленности из-за влияния неоднородностей атмосферы на пути распространения фронта волны.

Учитывая, что интенсивность когерентного рассеяния снижается по мере отклонения главного лепестка от зенита, а относительный уровень бокового лепестка, приближающийся при этом к зениту, растет, весьма важно ослабить боковые лепестки, особенно первые, уровень которых для эквидистантной синфазной решетки превышает $0,26 E_{\text{макс}}$. Наиболее доступным способом ослабления боковых лепестков в данном случае представляется использование плоской неэквидистантной решетки с равномерным возбуждением отдельных вибраторов, как это сделано, например, в линейной неэквидистантной решетке в том же диапазоне волн, где ослабление боковых лепестков по результатам измерения получилось порядка $0,06 E_{\text{макс}}$ [4]. Установив подобное же распределение шага вибратора по двум координатам плоской антенной решетки, можно ожидать такого же ослабления боковых лепестков в плоскостях E и H . Для отклонения главного лепестка от зенита надо согласовать фазовый сдвиг каждого вибратора с положением в решетке этого вибратора.

Для решения некоторых вопросов конструкции и компоновки большой приемно-передающей антенны измерительного комплекса построен экспериментальный модуль такой антенны, включающий 16 излучателей, 4 антенных коммутатора прием-передача, 21 фазовращатель, малощумящий усилитель, ослабляющий влияние потерь в относительно длинном кабеле приемного тракта, транзисторные усилители мощности, фидерная распределительная система.

Антенная решетка указанных размеров должна состоять из большого числа излучателей, например, $24 \times 24 = 576$ или $32 \times 32 = 1024$ шт., что соответствует при шаге решетки $0,8\lambda$ размеру антенны $103 \times 103 \text{ м}^2$ или $134 \times 134 \text{ м}^2$. Чтобы обеспечить неширокую диаграмму направленности элементарного излучателя, ограничить излучение в направлении земли (что повышает результирующий КПД антенны), в качестве элементарного излучателя избран трехэлементный волновой канал с активным элементом в виде шлейф-вибратора А. А. Пистолькорса. Ширина диаграммы направленности излучателя на уровне -3 дБ в плоскости E составляет $\pm 30^\circ$, в плоскости H — примерно $\pm 50^\circ$, излучение назад (в направлении земли) менее $0,1 E_{\text{макс}}$. Поляризация антенны линейная, поскольку распространение происходит в области атмосферы, где исключена ионизация и вращение плоскости поляризации рассеянной волны маловероятно.

В качестве антенных коммутаторов использованы коммутаторы на $p-i-n$ -диодах. Такого типа коммутаторы безотказно работают на протяжении ряда лет в измерительном комплексе для измерения ветра в метеорной зоне ВЕТА, где коммутируется импульсная мощность порядка 40 кВт [4].

При измерении скорости дрейфа доплеровским методом главный лепесток диаграммы направленности должен отклоняться от зенита на угол, равный примерно 15° [1; 2] в направлении восток—запад или север — юг. Для этого излучатели модуля снабжены двумя фазовращателями. В большой антенной решетке желательно установить повторяющиеся значения фазовых сдвигов, чтобы иметь однотипные фазовращатели. Выбраны фазовые сдвиги, кратные $2\pi/5 = 72^\circ$, т. е. $0, 72, 144, 216^\circ$ и т. д. В модуле это обеспечивает три фиксированные положения луча: направленное в зенит, отклоненное на $14,4^\circ$ к северу или на такой же угол к востоку. Большую антенну следует оснастить такими же фазовращателями, однако чтобы обеспечить возможность отклонения луча во все четыре стороны, она должна иметь четыре системы фазовращателей, например, при 1024 излучателях — около 4 тыс. фазовращателей. Разработана простая конструкция фазовращателя, использующая в качестве коммутирующего элемента реле РЭС-9 с двумя перекидными контактами, которые переключают центральную жилу коаксиального кабеля. Испытания показали, что коэффициент стоячей волны в обоих положениях контактов не превышает 1,14. Конструкция испытана на проходящую мощность 6 кВт в импульсе при типовой мощности на один излучатель порядка 2,5 кВт.

При наличии 4 тыс. реле система фазовращателей неработоспособна без схемы ее контроля. Работа фазовращателей модуля из 16 излучателей контролируется по токам, потребляемым обмотками отдельных групп реле. В большой антенне необходимо предусмотреть, кроме контроля токов, еще контроль наличия цепи по постоянному току через контакты реле фазовращателей каждого излучателя с выводом информации на центральное табло.

Список литературы: 1. *Кашцев Б. Л., Олейчиков В. Н.* Стратосферно-тропосферная радиолокационная станция для исследования атмосферных динамических процессов // Глобальная система метеорных наблюдений. М., 1987. С. 39—55. 2. *Balslay, Ecklund, Carter, Johnston.* The MST radar at Poker Flat, Alaska // Radio Sci. 1980. Vol. 15, N 2. P. 213—233. 3. *The MU radar with an active phased array system / Fukao, Sato, Tsuda.* // Radio Sci. 1985. Vol. 15, June. P. 225—231. 4. *Направленная коротковолновая антенна для исследования метеоров / Б. Г. Бондарь, В. М. Жебко, М. И. Гуртовой и др.* // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Сер. Радиотехника. 1967. Вып. 1, № 22 (70). С. 43—45.

Поступила в редколлегию 30.03.87