

4. Александров А. Ф., Кузовников А. А., Шибков В. М. и др.//Прикл. физика. 1994. № 4. С. 20.
5. Aleksandrov A. F., Devyatov A. M., Shibkov V. M. et al//Proc. X ESCAMPIG, contrib. papers. Orleans, France, 1990. P. 274.
6. Shibkov V. M., Isaev K. Sh., Lodinev V. V., Shibkova L. V.//Proc. XI ESCAMPIG, contrib. papers. St. Petersburg, Russia, 1992. P. 244.
7. Бердышев А. В., Вихарев А. Л., Гитлин М. С. и др.//ТВТ. 1988. 26, № 4. С. 661.
8. Попов Н. А.//Физ. плазмы. 1994. 20, № 3. С. 335.
9. Безменов И. Б., Силаков В. П. Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. М., 1993, № 30.
10. Vneuf J. P., Kunhardt E. E.//J. Appl. Phys. 1986. 60, N 3. P. 915.
11. Loureiro J., Ferreira C. M.//J. Phys. D; Appl. Phys. 1986. 19. P. 17.
12. Haas G. N., Oskam H. J.//J. Chem. Phys. 1973. 59, N 3. P. 1507.
13. Голубовский Ю. Б., Тележко В. М., Стоянов Д. Г.//Опт. и спектр. 1990. 69, № 2. С. 322.
14. Богатов Н. А., Гитлин М. С., Голубев С. В., Разин С. В. Препринт ИПФАН СССР. Горький, 1988. № 219.
15. Калинин А. В., Шибков В. М., Шибкова Л. В.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1996. № 1. С. 38 (Moscow University Phys. Bull. 1996. N 1).

Поступила в редакцию
17.03.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 2

УДК 537.871.64

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХСЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

В. Д. Гусев, Н. В. Карабанов, Д. В. Кирьянов

(кафедра физики атмосферы)

Описывается предложенный авторами экспериментальный автоматизированный комплекс для исследования перемещающихся ионосферных возмущений, созданный на физическом факультете МГУ.

Современные представления связывают перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) с распространяющимися в атмосфере акустико-гравитационными волнами [1]. Считается, что источники этих волн находятся в нижних слоях атмосферы, а их просачивание до ионосферных высот вызывает ПИВ. Типичные масштабы ПИВ — десятки и сотни километров, периоды — от нескольких секунд до десятков минут, скорости — сотни метров в секунду.

Основными направлениями в исследовании таких возмущений являются определения скоростей перемещения и пространственной геометрии ПИВ. Для наблюдений широко используются радиометоды с применением пространственно-разнесенного приема на поверхности Земли, в частности дифференциально-фазовый метод [2], реализованный на физическом факультете МГУ.

Линейные размеры измерительной антенной системы (рис. 1) для указанных масштабов неоднородностей типа ПИВ были вы-

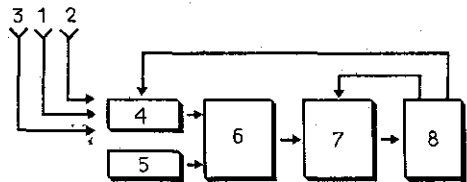


Рис. 1. Блок-схема экспериментального комплекса: 1 — опорная антенна, где расположен приемник радиоволн, 2 и 3 — антенны, удаленные от опорной, соответственно на западной и южной сторонах здания факультета, 4 — антенный переключатель (коммутатор), 5 — стандарт частоты (синтезатор), 6 — пеленгатор, 7 — блок регистрации, 8 — ЭВМ

браны такими, чтобы можно было применить соотношения геометрической оптики. Следовательно, вариации углов прихода на выходе из ионосферы и на поверхности Земли считались равными. Таким образом, регистрация вариаций азимутального и полярного углов прихода и вариаций доплеровского ухода частоты позволяет определить геометрию и динамику ПИВ [2].

В качестве источника зондирующего излучения выбрана вещательная станция Би-Би-Си, работающая в КВ-диапазоне на частоте $f_0=17,8$ МГц, близкой к максимальной применимой частоте слоя F2. Выбор такого источника обусловлен, с одной стороны, условием односкачкового распространения радиосигнала, а с другой — высокой стабильностью по частоте ($\delta f \sim 10^{-10}$), необходимой для обеспечения достаточной точности доплеровских измерений. При характерных для ПИВ доплеровских частотах $f_d \leq 1$ Гц уход частоты δf передатчика должен удовлетворять условию $\delta f \ll f_d/f_0 \sim 10^{-7}$ за время сеанса измерений, которое определяется временными масштабами изучаемых ПИВ и должно составлять $T \approx 2-3$ ч. Такие же требования предъявляются и к стабильности опорного генератора приемного блока.

Требования, предъявляемые к точности измерения вариаций пространственных разностей фаз, диктуются характерными вариациями углов прихода (для линейных размеров антенного треугольника $D \approx 100$ м $\Delta\varphi \approx 20^\circ$; точность в определении $\Delta\varphi$ должна быть не хуже $2-3^\circ$).

Создание автоматизированной угломерной установки было завершено в 1994 г. в соответствии с изложенными требованиями. Прием осуществлялся тремя разнесенными антеннами, расположенными на крыше физического факультета МГУ, с применением двухканального радиопеленгатора. Опрос антенн был организован последовательно с помощью коммутатора антенн, управляемого ЭВМ (рис. 1) и подключенного к одному из каналов приемника. На второй канал подавался опорный сигнал с высокостабильного синтезатора частоты. Использование единого приемного тракта позволяет повысить точность измерений за счет идентичности условий

регистрации для всех трех антенн. Тестирующие измерения разности фаз по двум каналам подтвердили, что погрешность в определении $\Delta\varphi$ составляет $1-2^\circ$.

Весь процесс измерений контролировался ЭВМ, которая в реальном масштабе времени записывала доплеровские частоты, амплитуду приходящего сигнала и пространственные разности фаз, впоследствии пересчитываемые в углы прихода.

В качестве примера работы комплекса можно привести спектры двух пространственных разностей фаз, измеренных 25.10.1994 г. в утренние часы. Спектры иллюстрируют наличие в ионосфере ПИВ (рис. 2). Первые, самые острые пики соответствуют возмущению типа внутренних гравитационных волн, распространяющемуся в об-

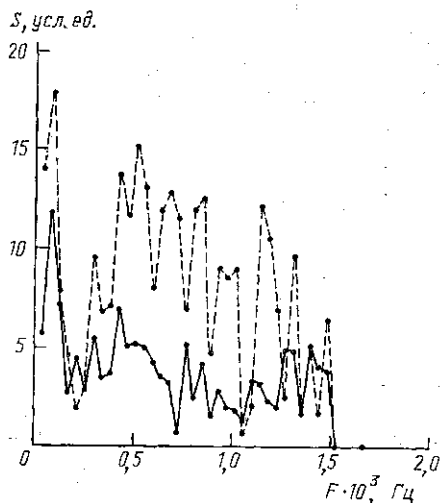


Рис. 2. Спектры разностей фаз антенн 1—2 (сплошная линия) и антенн 1—3 (штриховая)

ласти отражения сигнала (слой F_2) и имеющему период $T=2\pi/F \approx 20$ мин, а два других пика, согласно представлениям [1], — менее интенсивным акустическим волнам.

Для изучения свойств неоднородностей различных масштабов применяют частотную фильтрацию с различным видом спектральных окон, чтобы выделить составляющие, ответственные за различные типы возмущений [3].

Первые пробные измерения продемонстрировали работоспособность комплекса и его готовность к регулярным наблюдениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика верхней атмосферы Земли/Под ред. К. О. Хайнса и др. Л., 1971.
2. Гусев В. Д., Гайлит Т. А., Иванов М. И., Перекалина Е. О.//Геоматнегизм и аэрономия. 1982. 22, № 5. С. 753.
3. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. М., 1980.

Поступила в редакцию
06.03.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1996. № 2

УДК 537.52

ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ В СУРФАТРОНЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПО РАДИАЛЬНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ СВЧ-ПОЛЯ

С. Е. Бобков, П. С. Булкин, Г. С. Солнцев, Л. И. Цветкова

(кафедра физической электроники)

Исследуется способ определения концентрации электронов n по радиальному распределению амплитуды компонент поля поверхностной электромагнитной волны $E_r(r)$, $E_z(r)$, $H_\phi(r)$ в сурфатроне. Использована модель плазменного волновода с учетом стенок трубки. Из трех типов электромагнитных зондов лучшие результаты дает зонд, регистрирующий $E_r(r)$. При малых расстояниях зонд—трубка наблюдаются нелинейные эффекты, вызванные влиянием зонда на разряд.

Разряд в сурфатроне представляет собой плазменный волновод, по которому распространяется поверхностная электромагнитная волна (SW) ВЧ- или СВЧ-диапазона, значительная часть энергии которой идет на поддержание плазмы. Поэтому сурфатрон обычно рассматривают как самосогласованную систему плазма — SW [1, 2]. Распространение SW вдоль плазменного цилиндра возможно, если концентрация электронов n превышает критическую концентрацию $n_c = m\omega^2/(4\pi e^2)$ для данной частоты поля ω : $n > n_c(1 + \epsilon_a)$, где ϵ_a — диэлектрическая проницаемость среды, окружающей плазму. Специфической особенностью разрядов в сурфатроне является последовательный подвод энергии SW от возбuditеля к различным участкам плазменного столба по его длине. Из-за этого возникает продольный градиент концентрации электронов dn/dz .

Разряды на SW получают в широком диапазоне давлений газа (10^{-4} — 10^4 мм рт. ст.) и частот поля (1 — 10^4 МГц) и находят значительное применение в качестве источника ионов, в газоразрядных лазерах, спектроскопии и плазмохимии [3, 4]. Обычно используют аксиально-симметричную SW ($m=0$) с компонентами поля $E_z(r, z)$, $E_r(r, z)$, $H_\phi(r, z)$.