

коллимированных пучков от параметра s при различных значениях Ω и σ_0^2 ($1-\Omega=1$, $\sigma_0^2=20$; $2-\Omega=10$, $\sigma_0^2=20$; $3-\Omega=1$; $\sigma_0^2=0$; 4 — асимптотика (см. (6)), $\Omega=10$, $\sigma_0^2=0$. Здесь $\beta^{-1}=0$, $c=1$). Из поведения кривых можно заключить, что полуплоскостное асимптотическое выражение (6) практически справедливо при слабой турбулентности для $\Omega \geq 1$. При сильной турбулентности корреляция пучков в ближней зоне увеличивается, причем тем значительнее, чем больше их дифракционная расходимость. Очевидно, это объясняется тем, что эффективный радиус пучка по мере увеличения σ_0^2 в меньшей степени определяется своим начальным радиусом и в большей — совместным влиянием дифракционного и турбулентного уширения.

Частотное разнесение пучков ($c \neq 1$) в ближней зоне не приводит к заметной декорреляции случайных смещений ($K_c \approx 1$).

Исследовалась также корреляция пучков с различной фокусировкой (см. таблицу).

Результаты расчета показывают, что имеет место очень сильная корреляция пространственных флуктуаций центров тяжести коллимированного ($f=0$) и сфокусированного ($f=1$) пучков, особенно при сильной турбулентности. Отсюда следует важный вывод, что при исследовании целого ряда вопросов, связанных с определением случайных смещений центра тяжести светового пучка, достаточно ограничиться рассмотрением коллимированного пучка, тем более, что решение этой задачи проще в математическом отношении. Из таблицы видно также, что довольно высокая корреляция с коллимированным сохраняется и для слабо расходящегося ($f=-5$) пучка, во всех случаях увеличение интенсивности турбулентности на трассе приводит к росту K_c .

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кляцкин В. И., Кон А. И. — Изв. вузов — Радиофизика, 1972, 15, № 9, с. 1381.
- 2 Кон А. И., Миронов В. Л., Носов В. В. — Изв. вузов — Радиофизика, 1974, 17, № 10, с. 1501.
- 3 Гельфер Э. И., Кон А. И., Черемухин А. М. — Изв. вузов — Радиофизика, 1973, 16, № 2, с. 245
- 4 Миронов В. Л., Носов В. В. — Изв. вузов — Радиофизика, 1974, 17, № 2, с. 247.
- 5 Миронов В. Л. Распространение лазерного пучка в турбулентной атмосфере. — Новосибирск: Наука, 1981.

Ленинградский электротехнический
институт связи

Поступила в редакцию
9 апреля 1984 г

УДК 533.951

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ФЛУКТУАЦИЙ АМПЛИТУДЫ ИНТЕНСИВНЫХ РАДИОВОЛН, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ИОНОСФЕРЫ

Г. Н. Бойко, В. А. Зюзин, Г. П. Комраков, А. М. Леонов, В. А. Рыжов,
В. А. Сольщии, Ю. В. Токарев

Целью настоящей работы является классификация частотных спектров амплитуд мощных радиоволн, возбуждающих ионосферную турбулентность. В основу работы положены результаты измерений интенсивности отраженных от ионосферы радиоволн, полученные на экспериментальном стенде «Сура» в 1982—1983 гг. Искусственные ионосферные возмущения создавались мощными радиоволнами обыкновенной поляризации в диапазоне частот 4,5—9 МГц при эффективной мощности передатчика 150—300 МВт. При этом использовались два режима работы передатчика: 1) 20 с — работа, 80 с — пауза; 2) 2 минуты — работа, 3 минуты — пауза. Диагностика возмущений осуществлялась путем регистрации амплитуд волны накачки и пробных волн, отраженных от ионосферы. Прием сигналов проводился в 9 км от пункта излучателя. Ослабление земной волны относительно небесной в приемном пункте составляло 50 дБ.

Анализ записей амплитуд отраженных сигналов показывает, что спектр флуктуаций на начальной стадии развития ионосферной турбулентности заключен в пределах 0,3—26 Гц. При этом следует различать четыре типа флуктуаций амплитуды сигнала. Первый тип флуктуаций мы отождествляем с так называемыми «пичками» [4]. Через промежуток времени $\Delta t = 10^{-2}$ с после включения передатчика на записи

отраженного сигнала появляются колебания амплитуды с частотой 5—10 Гц. Частота и интенсивность колебаний монотонно уменьшаются со временем. Длительность стадии «пичков» составляет 0,5—1 с. Второй тип флуктуаций соответствует колебаниям амплитуды волны накачки, которые возникают через 20—50 мс после включения передатчика. Частота колебаний обычно не превышает 2—5 Гц, а длительность процесса составляет 3—5 с. В отличие от «пичков» интенсивность и частота колебаний либо не изменяются, либо незначительно уменьшаются со временем. Оба типа флуктуаций наблюдались при мощности передатчика ~ 30 МВт [7]. В этой работе они объединены общим названием «пички». Однако, вероятно, флуктуации имеют различное происхождение вследствие различия их морфологических особенностей. Флуктуации второго типа обнаружены как в дневных, так и в вечерних сеансах измерений. Они проявляются на записях амплитуды пробных волн с отстройкой частоты относительно волны накачки $\Delta f = 1$ МГц и выше. «Пички» (флуктуации первого типа) наблюдаются на пробных волнах при отстройке частоты не больше 15—20 кГц. Через 5—10 с с момента воздействия волны накачки на ионосферу устанавливается квазистационарный спектр флуктуаций отраженного сигнала с периодом 1—3 с (третий тип флуктуаций). Наряду с указанными типами флуктуаций были обнаружены колебания амплитуды отраженной волны, которые ранее не наблюдались. На фоне «пичков» и крупномасштабных флуктуаций сигнала появляются быстрые колебания амплитуды с частотами 8—26 Гц. На рис. 1а, б, в показаны примеры записей амплитуды отраженной волны накачки на разных частотах. Здесь начало записи соответствует моменту включения передатчика (f_n — частота волны накачки). На выделенных участках записи видны быстрые колебания амплитуды сигнала с частотами $f_k \sim 13 \div 23$ Гц.

Отметим основные особенности флуктуаций.

1) Флуктуации имеют вид квазигармонических колебаний. В течение небольших промежутков времени порядка 0,5—1 с период колебаний амплитуды не изменяется (см. рис. 1, где а) 16.12.82 г.: $f_k = 9310$ кГц; б) 16.12.82 г.: $f_k = 9310$ кГц; в) 25.07.83 г.: $f_k = 5105$ кГц).

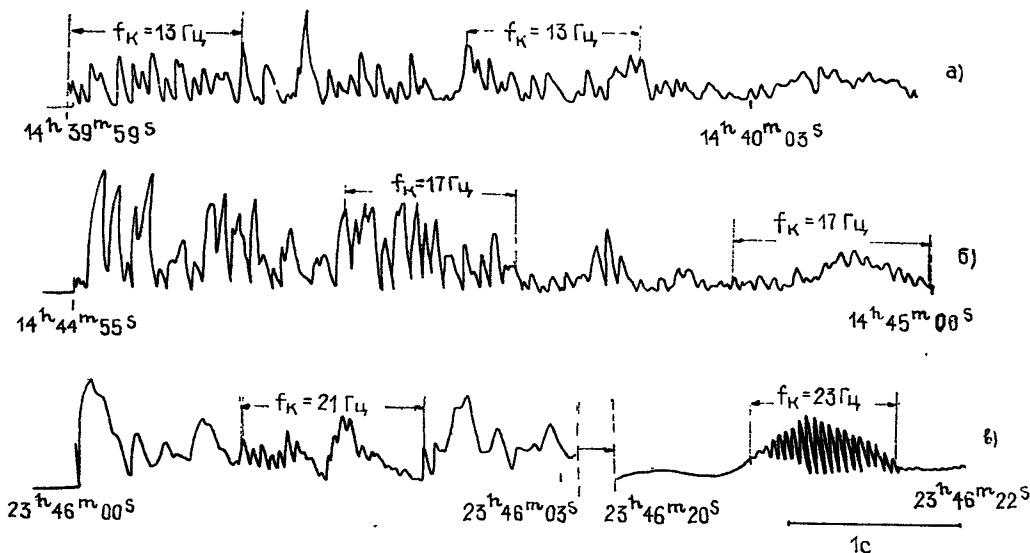


Рис. 1.

2) Быстрые флуктуации сигнала были зарегистрированы в дневных и вечерних сеансах наблюдений на разных частотах диапазона передатчика от 4,5 до 9 МГц. Явление имеет спорадический характер. В отдельных дни и в отдельных сеансах измерений оно не наблюдается. Характеристики флуктуаций нерегулярны во времени. В тех случаях, когда быстрые колебания амплитуды возникают, вероятность их появления в первую секунду после включения передатчика достаточно велика и приблизительно равна 0,7; во вторую секунду она равна 0,2. В промежутке времени от 2 до 5 с после включения вероятность появления обычно не превышает 0,1. По-видимому, возбуждение колебаний каким-то образом связано с развитием стрикционной или тепловой параметрической неустойчивости в ионосфере. Однако полная корреляция быстрых флуктуаций с начальной стадией развития ионосферной турбулентности отсутствует. В отдельных циклах излучения передатчика (2—5 минут) флуктуации не возникают. Среднее время жизни флуктуации составляет 1—10 с.

3) В пределах одного цикла излучения волны накачки частота флуктуаций изменяется на 10—40%, а от цикла к циклу эти изменения в отдельных случаях составляют 100% и более. Измерения показывают, что наиболее вероятный интервал

частот колебаний амплитуды заключен в пределах 12—24 Гц. Интенсивность колебаний относительно среднего уровня флуктуаций сигнала может существенно изменяться как в отдельном цикле излучения, так и от цикла к циклу (от 0,1 до 1).

4) Наблюдаются флуктуации в виде отдельных «цугов» с длительностью 1 с (рис. 1в).

5) На записях амплитуды пробных волн быстрые флуктуации не зарегистрированы. В ряде сеансов проводились параллельные измерения интенсивности стимулированного радиоизлучения ионосферы — явления, впервые исследованного в [3]. При этом было обнаружено, что в сеансах с наиболее длительными интенсивными быстрыми флуктуациями волны накачки происходили существенные качественные изменения спектральных характеристик стимулированного радиоизлучения, а также увеличивался их статистический разброс в различных циклах излучения передатчика. Кроме того, следует отметить, что вероятность появления быстрых флуктуаций возрастала в те дни, когда наблюдались всплески радиоизлучения Солнца метрового и сантиметрового диапазонов

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерухимов Л. М. и др. — В сб. Тепловые нелинейные явления в плазме. — Горький: ИПФ АН СССР, 1979.
2. Ерухимов Л. М., Метелев С. А., Митяков И. А., Фролов В. Л. — Геомагнетизм и аэрономия, 1983, 23, № 3, с. 433.
3. Thide Bo, Korpa H, Stubbe P. — Phys Rev. Lett., 1982, 49, № 21, p. 1561.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
29 марта 1984 г.

УДК 551.510.535

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ВОЗБУЖДЕНИЮ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ НАГРЕВНОГО СТЕНДА «ГИССАР»

*Л. М. Ерухимов, В. Я. Ковалев, Е. П. Куракин, С. Ф. Марченко, С. А. Метелев,
Л. Н. Рубцов, В. Л. Фролов*

Начиная с 1981 г., с введением в строй нагревного стенда «Гиссар» (г. Душанбе, Институт астрофизики АН ТаджССР) в СССР были начаты исследования по воздействию мощным радиоизлучением на ионосферную плазму в условиях низких широт. Энергетический потенциал стенда, определяемый мощностью КВ-передатчика $P_0 = 120$ кВт и направленными свойствами зенитной антенной решетки с $G \approx 35 \div 80$ в зависимости от частоты излучения, составляет $P_0 G = 4 \div 9$ МВт. Антенная решетка (с проволочной сеткой на поверхности Земли) обеспечивает излучение радиоволн правой и левой круговой поляризации в диапазоне частот 3—6 МГц.

Диагностика возмущенной области (ВО) ионосферы осуществляется путем ее зондирования сигналами ионосферной станции СП-3, регистрации амплитуды отраженных от ионосферной плазмы волны накачки (ВН) и пробных волн (ПВ) на частотах, близких к частоте волны накачки, приемом ракурсно рассеянных на мелко-масштабных искусственных неоднородностях КВ-радиосигналов вещательных станций и др. При этом используется сеть приемных пунктов, расположенных около нагревного стенда в радиусе до 150 км.

Изложенные ниже результаты основаны на трех циклах измерений (февраль и декабрь 1982 г. и октябрь 1983 г.). Измерения проводились, как правило, в последующее и вечернее время суток в основном при работе мощного радиопередатчика на частоте $f_{ВН} = 5,9$ МГц (редко при $f_{ВН} = 3,9$ МГц) в условиях, когда критические частоты F_2 -слоя ионосферы составляли $f_{0F_2} = 8 \div 13$ МГц. В этих экспериментах исследовались самовоздействие мощного радиоизлучения за счет стрикционной и тепловой параметрической неустойчивостей [1, 2], эффекты аномально ослабления и ракурсно рассеяния зондирующего возмущенную область коротковолнового радиоизлучения на мелко-масштабной искусственной ионосферной турбулентности [2].

1. **Вертикальное зондирование ВО.** На рис. 1 приведены два примера регистрации ионограмм для условий спокойной ионосферы (а) и спустя несколько минут после начала воздействия на частоте $f_{ВН} = 5,9$ МГц (б). Можно видеть исчезнове-