

О возможности широкополосных наблюдений межпланетных мерцаний на декаметровых волнах

И. С. Фалькович, Н. Н. Калиниченко, А. А. Гридин, И. Н. Бубнов

Радиоастрономический институт НАН Украины,
Украина, 61002, г. Харьков, ул. Краснознаменная, 4
E-mail: falk@ira.kharkov.ua, kalinich@ira.kharkov.ua

Статья поступила в редакцию 26 ноября 2003 г.

Экспериментально исследована частотная корреляция межпланетных мерцаний сигналов космических радиоисточников на декаметровых волнах в широкой полосе частот. Разработанный для проведения радиоастрономических наблюдений многоканальный корреляционный радиометр тестировался с помощью лабораторного имитатора межпланетных мерцаний. Показано, что интервал частотной корреляции процесса мерцаний в верхней части декаметрового диапазона превосходит 10 МГц. Это доказывает целесообразность использования приемных устройств с широкой полосой частот, соизмеримой со средней частотой диапазона, для увеличения чувствительности наблюдений.

Експериментально досліджено частотну кореляцію міжпланетних мерехтінь сигналів космічних радіоджерел на декаметрових хвилях в широкій смузі частот. Розроблений для проведення радіоастрономічних спостережень багатоканальний кореляційний радіометр тестовано з допомогою лабораторного імітатора міжпланетних мерехтінь. Показано, що інтервал частотної кореляції мерехтінь у верхній частині декаметрового діапазону перевищує 10 МГц. Це підтверджує доцільність використання приймальних засобів з широкою смугою частот, сумірною з середньою частотою діапазону, для підвищення чутливості спостережень.

Введение

Исследование межпланетной среды методом радиопросвечивания сигналами дискретных космических радиоисточников в декаметровом диапазоне волн (на самых низких частотах доступных для наблюдений с поверхности Земли) имеет ряд особенностей. В первую очередь это высокий уровень галактического фона ($T_{\phi} = 3.7 \cdot 10^4$ К на частоте 25 МГц), определяющий шумовую температуру $T_{\text{ш}}^{\text{сиг}}$ приемного радиоастрономического комплекса при условии, что собственно радиоприемное устройство имеет значительно более низкий уровень собственных шумов. Как следствие, флуктуационная чувствительность радиоаст-

рономических наблюдений процесса межпланетных мерцаний не всегда достаточна даже при огромной ($1.5 \cdot 10^5 \text{ м}^2$) эффективной площади крупнейшего в мире радиотелескопа УТР-2 [1], который укомплектован связными радиоприемниками с полосой пропускания Δf около 10 кГц. Использование узкополосных приемных устройств оправдано на частотах ниже $f = 20$ МГц, где уровень помех земного происхождения весьма велик и существенное расширение полосы пропускания делает радиоастрономические наблюдения практически невозможными. В методе мерцаний используют радиоисточники малых угловых размеров, чаще всего – квазары, плотность потока которых на частоте 25 МГц состав-

ляет $S=100 \div 300$ Ян и менее. Простые оценки показывают, что при $S=100$ Ян, $\Delta f=10$ кГц и постоянной времени интегратора $\tau=10^{-1}$ с отношение дисперсии сигнала слабых мерцаний к дисперсии аддитивного шума меньше единицы, что резко ограничивает количество используемых для радиопросвечивания источников. Увеличить постоянную времени τ для повышения чувствительности нельзя из-за достаточно высокой верхней граничной частоты спектра мерцаний. Поэтому единственный способ увеличения радиометрического выигрыша состоит в максимально возможном расширении полосы принимаемых частот, это допустимо при $f > 20$ МГц, где помеховая обстановка значительно лучше. Но даже в высокочастотной части декаметрового диапазона наблюдаются отдельные помехи, поэтому нецелесообразно использовать одно приемное устройство с широкой полосой пропускания порядка 10 МГц, но возможно многополосное построение приемного тракта с $\Delta f \sim 1$ МГц в каждом приемном канале. Суммирование выходных сигналов отдельных каналов позволит в соответствующее число раз повысить чувствительность наблюдений и использовать для радиопросвечивания сравнительно слабые радиисточники. Большие перспективы сулит применение широкополосного ($\Delta f \geq 10$ МГц) анализатора спектра типа DSP (digital spectral processor), когда отдельные узкополосные помехи селективируются при обработке и, таким образом, можно использовать для повышения чувствительности практически всю полосу пропускания прибора.

Предполагаемое увеличение радиометрического выигрыша, пропорциональное $\sqrt{\Delta f}$, может быть реализовано только при отсутствии декорреляции процесса мерцаний в используемой достаточно широкой полосе Δf . Эксперименты по исследованию широкополосности мерцаний в метровом диапазоне радиоволн показали, что при разносе частот на $20 \div 30$ МГц коэффициент корреляции равен 0.7 [2, 3]. Данных о частотной корреляции межпланетных

мерцаний в декаметровом диапазоне волн до настоящего времени очень мало [4, 5]. Этот вопрос интересен не только с точки зрения увеличения флуктуационной чувствительности, но и для решения обратной задачи определения параметров солнечного ветра по наблюдаемым данным. Ранее для этих целей использовались только индекс мерцаний и их временной энергетический спектр, тогда как искомым параметром неоднородной межпланетной плазмы достаточно много. Использование экспериментальных данных о частотной корреляции процесса мерцаний (совместно с индексом и спектром мерцаний) может позволить более корректно восстанавливать характеристики солнечного ветра.

Широкополосный многоканальный радиометр для наблюдения межпланетных мерцаний

Приведенные выше соображения стимулировали разработку и изготовление широкополосного шестиканального радиоприемника для изучения характеристик солнечного ветра на радиотелескопе УТР-2. Ширина полосы пропускания отдельного канала была выбрана равной 1 МГц. Шесть идентичных радиоприемников позволяли гибко менять структурную схему приемного тракта. Были предусмотрены два основных варианта применения имеющихся приемных каналов. Первый из них позволял осуществить одновременный пятилучевой прием при использовании пяти смежных лучей антенной решетки "Север-Юг", разнесенных по углу места и предназначенных для учета ионосферной рефракции. Для получения результирующей диаграммы направленности Т-образного радиотелескопа необходимо перемножить выходные сигналы антенны "Север-Юг" и ортогональной ей антенны "Запад-Восток". Штатный комплект аппаратуры УТР-2 обеспечивает режим перемножения по схеме интерферометра Райла [6] с прямоугольной фазовой модуляцией на входе. В нашем случае реализо-

ван корреляционный интерферометр [6] с аналоговым перемножением видеочастотных сигналов двух приемников, подключенных к двум ортогональным решеткам УТР-2. Такая схема позволяет в $2\sqrt{2}$ раз увеличить радиометрический выигрыш по сравнению с интерферометром Райла. Таким образом, в пятилучевом режиме пять приемников работают в составе антенны “Север-Юг” и один – в составе антенны “Запад-Восток”. В этом варианте структурной схемы может быть реализована только одна полоса пропускания порядка 1 МГц в пределах диапазона $20 \div 30$ МГц.

Увеличение количества используемых полос достигается во втором варианте структурной схемы за счет отказа от пятилучевого приема. Три разнесенных по частоте канала, по два приемника в каждом, используют только один луч решетки “Север-Юг”. В этом случае индикатором номера луча с максимальным уровнем принимаемого сигнала служит штатный пятилучевой приемный комплекс УТР-2, более низкая чувствительность которого позволяет, тем не менее, за счет увеличения постоянной времени интегрирования уверенно регистрировать радиоисточники с плотностью потока $30 \div 50$ Ян.

Каждый из шести приемников собран по схеме прямого преобразования, в которой частота гетеродина равна центральной частоте полосы пропускания. На рис. 1 приведена функциональная схема двух приемников, участвующих в перемножении выходных сигналов антенн “Север-Юг”, “Запад-Восток” и настроенных на одну частоту. Для обеспечения высокой чувствительности и помехозащищенности наблюдений на входе каждого канала установлен фильтр верхних частот с частотой среза $f_{cp} = 18$ МГц и высоколинейный широкополосный усилитель с коэффициентом усиления $K = 6$ дБ. В качестве источника сигнала гетеродина используется ламповый генератор Г4-1А, отличающийся низким уровнем собственных шумов и паразитных гармонических составляющих. Частотную селекцию обеспечивает расположенный за смесителем фильтр нижних

частот ($f_{cp} = 0.5$ МГц), а основное усиление (90 дБ) – видеоусилитель. Общими для двух приемников являются аналоговый перемножитель, интегратор ($\tau = RC = 10^{-1}, 10^{-2}$ с) и усилитель постоянного тока. Вследствие большого усиления верхняя граничная частота видеоусилителя оказалась равной 0.4 МГц, поэтому фактическая ширина полосы пропускания корреляционного приемника составила 0.8 МГц.

Лабораторный имитатор межпланетных мерцаний

При исследовании корреляции межпланетных мерцаний достаточно жесткие требования предъявляются к идентичности амплитудно-фазовых характеристик отдельных узлов и двухканального приемника в целом от входа ВЧ до входа перемножителя. Частотные разностно-фазовые зависимости фильтров верхних и нижних частот сравнительно узкополосных видеоусилителей в реальных конструкциях могут иметь заметный разброс, что приведет к уменьшению выходного сигнала перемножителя. Последнее затруднит выявление степени корреляции процесса мерцаний в пределах полосы пропускания радиометра.

Описанные ниже методические эксперименты преследовали две цели. Во-первых,

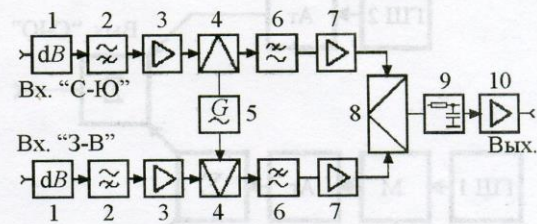


Рис. 1. Функциональная схема двухканального широкополосного корреляционного приёмника: 1 – аттенюатор ($0 \div 31$ дБ), 2 – фильтр ВЧ ($f_{cp} = 18$ МГц), 3 – усилитель ВЧ ($K = 6$ дБ), 4 – балансный смеситель, 5 – гетеродин (Г4-1А), 6 – фильтр НЧ ($f_{cp} = 0.5$ МГц), 7 – видеоусилитель ($K = 90$ дБ), 8 – перемножитель, 9 – интегратор ($\tau = 10^{-1}, 10^{-2}$ с), 10 – усилитель постоянного тока

требуется доказать сохранение когерентности двухканального радиоприемника при расширении его полосы пропускания до 0.8 МГц (ранее применялись узкие полосы порядка 10 кГц). Это необходимо для оценки результатов натуральных экспериментов, для которых количественным критерием скоррелированности наблюдаемого процесса будет служить увеличение отношения сигнал/шум, пропорциональное $\sqrt{\Delta f}$. После доказательства эффективности применения радиометра с полосой около 1 МГц следующий шаг состоит в изучении корреляции процесса мерцаний в интервале частот 20 ÷ 30 МГц с помощью разработанных и исследованных широкополосных радиометров, обеспечивающих высокое отношение сигнал/шум при наблюдении радиоисточников с плотностью потока менее 100 Ян.

Для проверки отмеченных положений разработан имитатор сигналов межпланетных мерцаний, с помощью которого проводились испытания широкополосного радиометра и достоверности измерений корреляции процесса мерцаний в полосе 20 ÷ 30 МГц. Функциональная схема имитатора приведена на рис. 2. Устройство формирует декаметровые шумоподобные сигналы, близкие по спектру и наличию аддитивного шума к реальным сигналам межпланетных мерцаний, наблю-

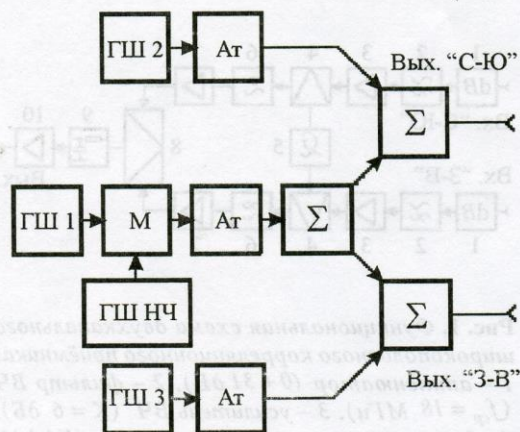


Рис. 2. Функциональная схема имитатора межпланетных мерцаний

дающихся на выходах антенн “Север-Юг” и “Запад-Восток”.

Имитатор состоит из трех некоррелированных генераторов шума ГШ1, ГШ2 и ГШ3, первый из которых моделирует сигнал просвечивающего межпланетную среду радиоисточника, а два других – некоррелированные шумы галактического фона и системы антенного усиления ортогональных решеток УТР-2. Модулятор (М) и генератор низкочастотного модулирующего сигнала (ГШ НЧ) имитируют влияние межпланетной среды на интенсивность принимаемого полезного сигнала. Модулятор собран по схеме управляемого согласованного аттенуатора на СВЧ диодах 2А507А, ширина его полосы пропускания 1 ÷ 100 МГц, поэтому в декаметровом диапазоне – это частотно-независимое устройство. Источник модулирующего сигнала представляет собой усилитель квазипостоянного тока с очень большим усилением, генерирующий низкочастотный фликкершум со степенным спектром мощности и спектральным индексом около 3. Низкочастотный завал спектра ниже 10^{-1} Гц обеспечен фильтром верхних частот. Широкополосные сумматоры (Σ) разветвляют модулированный сигнал на два приемных канала и добавляют к нему аддитивные

Энергетический спектр мерцаний, о. е.

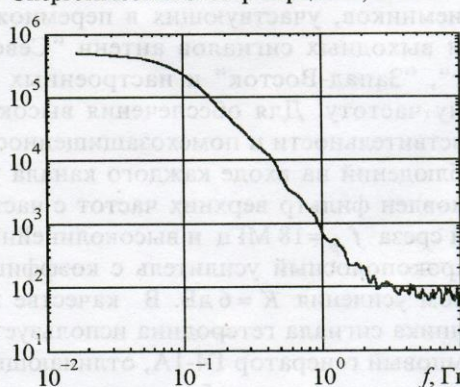


Рис. 3. Энергетический спектр сигнала имитатора

шумы. Установленные на входах сумматоров аттенюаторы (Ат) позволяют задать соответствующее наблюдаемому радиоисточнику отношение сигнал/шум. Таким образом, описываемое устройство дает возможность в лабораторных условиях моделировать процесс межпланетных мерцаний с интервалом частотной корреляции, априорно превышающим ширину декаметрового диапазона частот. Пример энергетического спектра сигнала имитатора, измеренный на выходе корреляционного радиометра с полосой 0.8 МГц, приведен на рис. 3. Спектр мерцаний заключен в интервале частот 0.015 ÷ 2 Гц выше – спектр аддитивных шумов.

Результаты экспериментов

Для изучения возможности использования широкополосного приемника в задаче исследования межпланетных мерцаний были испытаны три однотипных корреляционных радиометра с разной шириной полосы пропускания: 12, 120, 800 кГц. В первых двух случаях исходное устройство с полосой 0.8 МГц дополнялось фильтрами нижних частот 6 и 60 кГц, включенными между видеоусилителями и перемножителями. Все три радиометра, настроенные на одну частоту, синфазно подключались к выходам “С-Ю” и “З-В” имитатора или радиотелескопа УТР-2.

В имитационном режиме моделировался сравнительно слабый радиоисточник с отношением сигнал/шум $\sigma_s/\sigma_n = -10$ дБ. Одновременная регистрация выходных сигналов трех каналов позволяла измерить σ_s/σ_n в разных частотных полосах интегрированием спектра мощности сигнала и шума. В результате в этих полосах при постоянной времени $\tau = 10^{-2}$ с получены следующие значения: $\sigma_s/\sigma_n = 0.76, 2.37$ и 6.1 . Возрастающие σ_s/σ_n с увеличением ширины полосы пропускания соответствует закону $\sqrt{\Delta f}$ с ошибкой около 1.5 %, что доказывает высокую степень идентичности характеристик двухканального радиоприемника для каждой из использованных полос и отсутствие

аппаратурного уменьшения радиометрического выигрыша при расширении полосы.

В радиоастрономическом эксперименте исследовались мерцания радиоисточника 3C144 на выходах трехполосного радиометра. Временные энергетические спектры мерцаний для разных полос показаны на рис. 4. Как и в модельном эксперименте, отношение σ_s/σ_n определялось интегрированием спектров и для полос 12, 120 кГц и 0.8 МГц оказалось равным 2.19, 7.13 и 17.4 соответственно, что с погрешностью всего 3 ÷ 5 % отличается от зависимости $\sigma_s/\sigma_n \sim \sqrt{\Delta f}$. Следовательно, межпланетные мерцания в полосе частот около 1 МГц полностью скоррелированы и приемники с такой полосой пропускания могут успешно применяться для повышения чувствительности наблюдений.

Следующие модельный и натурный эксперименты проводились с целью изучения корреляции процесса мерцаний в полосе частот до 10 МГц с использованием исследованных выше широкополосных корреляционных радиометров. В модельном эксперименте два радиометра, настроенные на разные частоты, подключались к имитатору, отношение сигнал/шум P_s/P_n на выходе которого изменялось аттенюаторами

Энергетический спектр мерцаний, о. е.

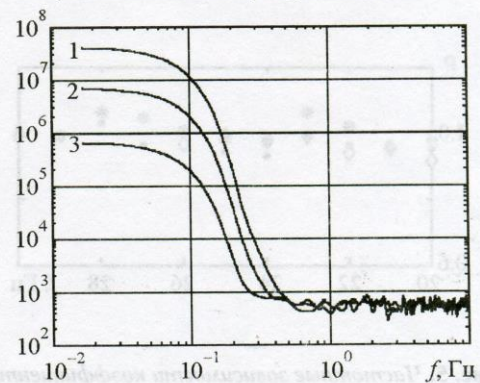


Рис. 4. Энергетические спектры мерцаний радиоисточника 3C144 в трех полосах: 1 – $\Delta f = 800$ кГц, 2 – $\Delta f = 120$ кГц, 3 – $\Delta f = 12$ кГц

(рис. 2) от 0 до -10 дБ. Первый радиометр был настроен на 20 МГц, второй – перестраивался в процессе эксперимента от 22 до 30 МГц с шагом 1 МГц. Для каждой пары частот находился коэффициент корреляции выходных сигналов радиометров по формуле:

$$\rho = \frac{(s_1(t) + n_1(t))(s_2(t) + n_2(t))}{((\sigma_{s_1+n_1}^2 - \sigma_{n_1}^2)(\sigma_{s_2+n_2}^2 - \sigma_{n_2}^2))^{1/2}}, \quad (1)$$

где $s_1(t)$ и $s_2(t)$ – центрированные процессы мерцаний, $n_1(t)$ и $n_2(t)$ – аддитивные шумы, в знаменателе – соответствующие дисперсии сигналов, черта сверху означает усреднение по времени. Результаты определения ρ по формуле (1) для двух значений $\sigma_s/\sigma_n = 0, -10$ дБ показаны на рис. 5. Как следует из рисунка, во всем диапазоне частот 20 ÷ 30 МГц имеет место практически полная корреляция “мерцаний” априорно широкополосного имитатора, что говорит о пригодности приемной аппаратуры для исследования корреляции межпланетных мерцаний в указанной полосе частот.

Результаты измерений ρ при наблюдении мерцаний радиоисточника 3С144 приведены на том же рис. 5. Как и при про-

ведении модельного эксперимента расстройка между двумя радиометрическими каналами изменялась дискретно с шагом 1 МГц и для всех пар частот по формуле (1) вычислялся коэффициент корреляции ρ мерцаний интенсивности сигналов на выходах радиометров. В исследованном интервале 20 ÷ 26 МГц значение ρ как функция разности центральных частот приемных каналов изменялось в пределах 0.94 ÷ 1.0, что не отличается от результатов модельного эксперимента, в котором исследуемый процесс был заведомо скоррелирован. Можно, таким образом, сделать предварительный вывод о полной корреляции межпланетных мерцаний в полосе 6 МГц. В данных наблюдениях расширению частотного диапазона вверх препятствовали сильные стационарные помехи в интервале 27 ÷ 29 МГц.

Проведенный эксперимент не обнаружил снижения коэффициента корреляции при увеличении расстройки радиометров вплоть до 6 МГц. Это утверждение было проверено дополнительно с использованием большого числа независимых реализаций. На рис. 6 показана гистограмма значений ρ при фиксированной разности частот 6 МГц, построенная по 23 сканам радиоисточника 3С144. Гистограмма достаточно узкая с хорошо выраженным мак-

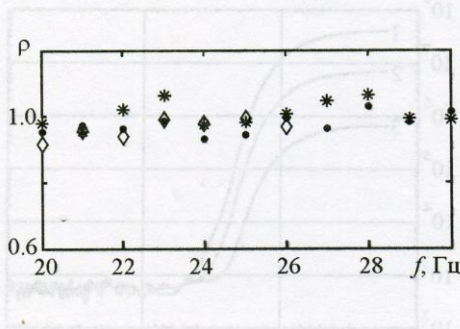


Рис. 5. Частотные зависимости коэффициентов взаимной корреляции ρ в модельном и натурном экспериментах: • – модельный эксперимент ($\sigma_s/\sigma_n = -10$ дБ); * – модельный эксперимент ($\sigma_s/\sigma_n = 0$ дБ); \diamond – натурный эксперимент (радиоисточник 3С144)

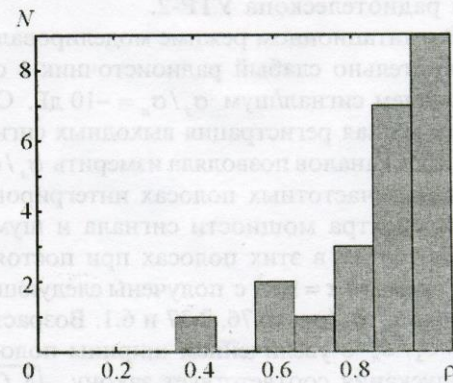


Рис. 6. Гистограмма коэффициента взаимной корреляции мерцаний радиоисточника 3С144 при разности частот наблюдения 6 МГц

симумом вблизи $\rho=1$. Отдельные реализации дают меньшие значения ρ , что можно объяснить влиянием ионосферных мерцаний и кратковременных узкополосных радиопомех, попадающих в один из приемных каналов.

Одновременное использование трех широкополосных корреляционных радиометров, настроенных на частоты 20, 25 и 30 МГц, позволило измерить частотную корреляцию межпланетных мерцаний квазара 3C196 в максимально широкой для этой серии экспериментов полосе 10 МГц. Значения ρ при расстройке на 5 МГц мало отличаются от результатов, приведенных на рис. 6, тогда как гистограмма ρ при $f_1=20$ МГц и $f_2=30$ МГц (рис. 7, светлый и темный фон) расширена в область низких значений ρ с максимумом в окрестности $\rho=0.9$. Уменьшение ρ в ряде реализаций можно, как и выше, объяснить появлением в вечернее время слабых радиопомех на одной из частот, 20 или 30 МГц. Это доказывается сравнением значений ρ , полученных в этих реализациях на парах частот 20, 25 МГц и 25, 30 МГц. Заметно более высокая корреляция исследуемого процесса на одной из пар частот говорит о наличии помехи в каналах радиометров

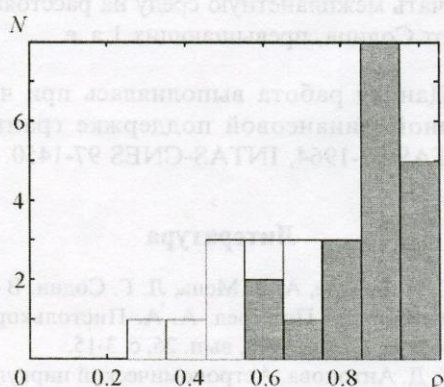


Рис. 7. Гистограмма коэффициента взаимной корреляции мерцаний радиосточника 3C196 при разности частот наблюдения 10 МГц

20 и 30 МГц, что позволяет использовать такой подход для селекции сканов, пораженных узкополосными помехами. Скорректированная в соответствии с этим критерием гистограмма, показанная на рис. 7 темным фоном, имеет меньшую ширину и большие в среднем значения $\rho \approx 0.9$.

Как было отмечено выше, на наблюдения межпланетных мерцаний могут влиять не только станционные помехи, но и ионосферные мерцания. Изучение последних при просвечивании среды протяженным радиисточником 3C461, мерцающим, в основном, на неоднородностях ионосферной плазмы, показало высокую корреляцию в полосе не менее 5 МГц, поэтому корреляционные различия не могут быть использованы для разделения двух типов мерцаний в проведенных экспериментах. Можно, однако, воспользоваться спектральным критерием для выяснения вклада ионосферы в исследуемый процесс мерцаний. Впервые сравнение спектров двух типов мерцаний было проведено в работах [7, 8]. На рис. 8 приведены построенные в одном масштабе энергетические спектры ионосферных мерцаний источника 3C461 и квазара 3C196, который мерцает на неоднородностях как ионосферной, так и меж-

Энергетический спектр мерцаний, о. е.

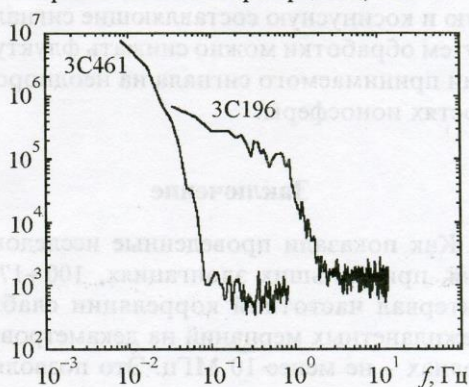


Рис. 8. Энергетические спектры мерцаний радиосточников 3C461 и 3C196

планетной плазмы. Использование радиостанции ЗС461, размеры которой составляют несколько угловых минут, позволяет при некоторых допущениях выделить спектр ионосферных мерцаний из суммарного спектра мерцаний компактного квазара ЗС196. В процессе экспериментов средняя мощность обоих источников на выходе радиометра выравнивалась регулировкой усиления приемного тракта, что позволило построить энергетические спектры в одном масштабе и сравнить их. Упомянутые допущения связаны с несинхронностью наблюдений двух радиостанций (разница во времени – около 1.5 часа) и некоторым различием просвечиваемых областей ионосферы, связанным с разностью координат источников. К принятым допущениям следует отнести также предположения о слабом уменьшении индекса ионосферных мерцаний при переходе от протяженного источника ЗС461 к компактному квазару ЗС196. Как видно из рисунка, практически во всем интервале флуктуационных частот $0.03 \div 2$ Гц спектры межпланетных и ионосферных мерцаний отличаются более, чем на порядок, что говорит о незначительном влиянии ионосферы на результаты спектральных и корреляционных измерений. Следует отметить также, что поскольку ионосфера находится в ближней зоне радиотелескопа УТР-2, то, используя синусную и косинусную составляющие сигнала, путем обработки можно снижать флуктуации принимаемого сигнала на неоднородностях ионосферы.

Заключение

Как показали проведенные исследования, при больших элонгациях, $100 \div 170^\circ$ интервал частотной корреляции слабых межпланетных мерцаний на декаметровых волнах – не менее 10 МГц. Это позволяет использовать большую часть рабочего диапазона частот радиотелескопа УТР-2 при наличии приемных устройств с широкой полосой пропускания, соизмеримой со средней частотой диапазона. В качестве подоб-

ных устройств удобно применить современные DSP-анализаторы, допускающие селекцию отдельных помех и целых радиовещательных диапазонов. Внедрение DSP в радиоастрономические наблюдения дает возможность провести исследования, аналогичные описанному, в более широкой полосе частот до 20 МГц, перекрывающей весь диапазон частот УТР-2, $10 \div 30$ МГц.

Для широкодиапазонных радиоастрономических исследований (в частности, исследований межпланетной среды) необходимо продвигаться в область более высоких частот $30 \div 60$ МГц, где помеховая обстановка значительно лучше. Как показал предварительный анализ [9], имеющий отношение к проекту LOFAR (Low Frequency Array), широкополосная ($10 \div 70$ МГц) антенная система нового поколения может быть построена на основе активной антенной решетки, состоящей из малогабаритных диполей со встроенными усилителями.

Одной из полезных задач, относящихся к изучению межпланетных мерцаний, является составление каталога мерцающих радиостанций, степень полноты которого напрямую связана с максимально достижимой чувствительностью наблюдений при максимально возможном расширении полосы анализа. Использование большого числа компактных источников с разными эклиптическими координатами позволит эффективно изучать межпланетную среду на расстояниях от Солнца, превышающих 1 а. е.

Данная работа выполнялась при частичной финансовой поддержке грантов INTAS 97-1964, INTAS-CNES 97-1450.

Литература

1. С. Я. Брауде, А. В. Мень, Л. Г. Содин. В сб.: "Антенны". Под ред. А. А. Пистолькорса. Москва, Связь, 1978, вып. 26, с. 3-15.
2. Т. Д. Антонова. *Астрономический циркуляр*. 1968, № 486, с. 1-3.
3. В. С. Аргюх. *Астрономический журнал*. 1981, **58**, вып. 1, с. 208-216.
4. В. П. Бовкун, И. М. Жук. *Доповіді АН УССР, сер. "А"*. 1981, № 6, с. 66-69.

5. В. П. Бовкун, И. Н. Жук. Изв. вузов. Радиофизика. 1982, **25**, № 7, с. 727-733.
6. Дж. Д. Краус. Радиоастрономия. Москва, Советское радио, 1973, 456 с.
7. V. P. Bovkoon and I. N. Zhouk. Astrophys. and Space Sci. 1981, No. 79, pp. 165-180.
8. В. П. Бовкун, И. Н. Жук. Косм. наука и техника. 1992, вып. 7, с. 80-91.
9. I. S. Falkovich, A. A. Konovalenko, N. N. Kalinichenko, A. A. Gridin. Proc. of the 5-th International Workshop "Planetary and Solar Radio Emission". Graz, Austria, 2001, April 2-4, pp. 415-421.

On the Possibility of Broadband IPS Observations at Decameter Waves

I. S. Falkovich, N. N. Kalinichenko,
A. A. Gridin, I. N. Bubnov

The frequency correlation of the interplanetary scintillations of the cosmic radio sources has been experimentally investigated in a wide range of decameter wavelengths. The multi-channel correlation radiometer, designed for radio astronomical observations, has been tested by using the laboratory simulator of interplanetary scintillations. The interval of the frequency correlation of scintillations has shown to be more then 10 MHz at the upper part of the HF range. This proves the expediency of using the broadband receivers, which bandpass is commensurable with the band center frequency, for more sensitive observations.