

УДК 621.391

*В. Н. БОНДАРЕНКО, В. А. МИСЮРА, д-р техн. наук,  
В. Н. ФЕДОРЕНКО, А. М. ЦЫМБАЛ, канд. физ.-мат. наук*

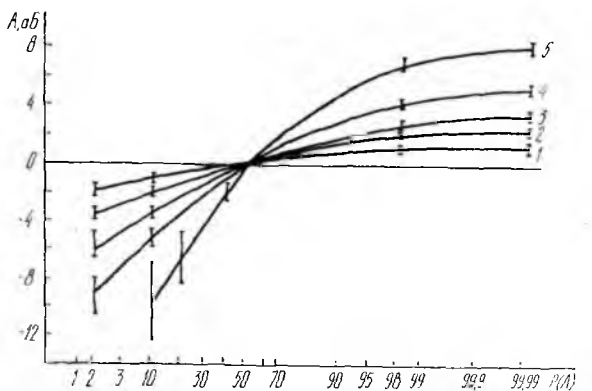
### **СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЦАНИЙ РАДИОСИГНАЛОВ УКВ-ДИАПАЗОНА НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ**

---

Неоднородности электронной концентрации вызывают мерцания радиосигналов, проходящих через ионосферу. Особенно интенсивны мерцания на экваториальных и высоких широтах. Для обеспечения качественной и надежной работы различных радиосистем в таких условиях необходимо знать статистические характеристики мерцаний. Таковыми, в частности, являются функции распределения, интервалы временной и пространственной корреляции амплитуды и фазы, длительность замираний.

Представим результаты измерений этих характеристик на высоких широтах по регистрациям сигналов искусственных спутников Земли (ИСЗ) типа «Транзит» на частоте 150 МГц. Измерения проводились в 1975—1984 гг. Полученные данные относятся в основном к магнитоспокойным условиям. В большинстве случаев (около 70 %) во все сезоны мерцания наблюдались ночью, в период 21.00—05.00 по местному времени. Значительно реже они регистрировались вечером (20 %) и утром (10 %). Практически не было мерцаний с индексами  $S_4 > 0,1$  в дневное время.

Функции распределения флуктуаций амплитуды и разности фаз. Сопоставление эмпирических функций распределения флуктуаций амплитуды с теоретическими рассматривалось в ряде работ [1—3], однако результаты противоречивы. Как указывалось в работе [2], использовавшиеся при этом критерии согласия были не оптимальными. Предложено для нахождения наилучшего из рассматриваемых теоретических законов использовать функции правдоподобия [2]. Такой подход был применен нами для сравнения нормального, логарифми-



чески нормального распределений и М-распределения Накагами, которыми обычно аппроксимируют экспериментальные гистограммы. Для каждого типа распределения по экспериментальным данным рассчитывались и сравнивались между собой значения функции правдоподобия  $L = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i)$ , где  $f(x)$  — плотность распределения. При  $L_n/L_j > 1$  лучшим считалось распределение с функцией правдоподобия  $L_n$ .

Анализ показал, что независимо от сезона и уровня солнечной активности как для слабых, так и сильных мерцаний (в условиях измерений индекс мерцаний  $S_4$  доходил до 1,1) экспериментальные функции распределения лучше всего описываются логарифмически нормальным законом.

По полученным данным построили усредненные функции распределения для пяти групп индексов мерцаний: 1 —  $S_4 < 0,2$ ; 2 —  $S_4 = 0,2 \div 0,35$ ; 3 —  $S_4 = 0,35 \div 0,5$ ; 4 —  $S_4 = 0,5 \div 0,8$ ; 5 —  $S_4 > 0,8$  (рисунк). Их можно использовать при известном индексе мерцаний  $S_4$  для нахождения времени, в течение которого амплитуда сигнала падает ниже определенного уровня. Индекс  $S_4$  может быть задан исходя из конкретных условий, измерен или вычислен по какой-либо модели.

Анализ полученных распределений разности фаз при разнесенном приеме сигналов ИСЗ показал, что в условиях слабых и умеренных мерцаний амплитуды ( $S_4 < 0,5$ ) они удовлетворительно аппроксимируются нормальным законом.

**Временные характеристики мерцаний.** В основном интервалы временной корреляции  $\tau_A$  флуктуаций амплитуды составляли 0,1—0,6 с. Отмечены вариации их наиболее вероятных значений: летом — около 0,2 с, зимой — 0,3 с, весной — 0,25 с. Определенной зависимости между интенсивностью мерцаний (индексом  $S_4$ ) и интервалом корреляции  $\tau_A$  не наблюдалось.

Интервал временной корреляции разности фаз при разнесении приемных антенн в направлениях север—юг и запад—восток на расстояния около 100 м изменялся в пределах 0,03—0,1 с.

Временные характеристики мерцаний описываются также и длительностью замираний  $\Delta t$  на определенном уровне амплитуды. Как показали измерения, гистограммы этих длительностей могут быть аппроксимированы экспоненциальной

зависимостью  $f(\Delta t) = \frac{1}{v} \exp\left(-\frac{\Delta t}{v}\right)$ , где  $v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta t_i$ . Параметры этого рас-

пределения различны для 'слабых и сильных мерцаний' (соответственно для  $S_4 < 0,4 \div 0,5$ ,  $S_4 > 0,5$ ). Так, в условиях измерений при определении длительности замираний относительно среднего уровня амплитуды в первом случае  $0,35 \text{ с} < \tau < 0,42 \text{ с}$ , во втором —  $0,46 \text{ с} < \tau < 0,58 \text{ с}$ . Максимальные длительности замираний достигали 1,7—2 с.

**Пространственные характеристики мерцаний.** По регистрациям амплитуды ИСЗ на пять разнесенных антенн с использованием полного корреляционного анализа получили оценки интервала пространственной корреляции  $d$ . В весенний период ночью в направлении север—юг значения  $d$  составляли 240—380 м, запад—восток — 90—170 м, днем интервал пространственной корреляции увеличивался до 750—900 м и 200—220 м в соответствующих направлениях. Летом величины  $d$  были меньше, чем весной.

**Взаимная корреляция между флуктуациями амплитуды сигналов различной поляризации.** На частотах выше 100 МГц схемы с разнесением принимаемых сигналов по типу поляризации для ослабления влияния мерцаний неэффективны [4]. Однако проведенные расчеты показали, что при определенных условиях пространственное расхождение между траекториями обыкновенной и необыкновенной волн может приводить к заметному отлнчию от единицы коэффициента взаимной корреляции  $R_{o, n}$  их амплитуд. Так, на частотах 100—150 МГц при высокой солнечной активности, углах места ИСЗ  $\beta < 15\text{--}20^\circ$  и для неоднородностей с внешним масштабом  $L_0 \leq 0,3 \div 0,5 \text{ км}$  значения  $R_{o, n}$  составляют 0,4—0,8. Измерения показали, что такие неоднородности наблюдались на высоких широтах [5].

Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными. Так, в измерениях на высоких широтах коэффициент взаимной корреляции амплитуд сигналов с разной поляризацией (линейной, левой и правой круговой) на частоте 150 МГц ночью составлял в отдельных случаях 0,8—0,9, днем — 0,4—0,7. Отличие значений, полученных днем, от значений, полученных ночью, можно объяснить меньшими величинами электронной концентрации ночью и соответственно меньшим пространственным расхождением траекторий сигналов с разной поляризацией.

**Список литературы:** 1. Rino C. L., Livingston R. S. Some new results on the statistics of radio wave scintillation//J. Geophys. Res. — 1976. — 81, № 13. — P. 2051—2057. 2. Knepp D. L., Valley G. C. Property of joint gaussian statistics//Radio Sci. — 1978. — 13, N 1. — P. 59—68. 3. Fremouw E. J., Livingston R. S., Miller D. A. On the statistics of scintillation signals//J. Atm. Terr. Physics. — 1980. — 42, N 4. — P. 717—731. 4. Крейн П. К. Мерцания радиосигналов в ионосфере//Тр. ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. — 1977. — 65, № 2. — С. 5—29. 5. Clark D. H. The latitude variation of sizes of the ionospheric irregularities producing radio-satellite scintillation//J. Atm. Terr. Physics. — 1971. — N 8. — P. 1267—1272.

Поступила в редколлегию 06.03.86