

Э. С. Бурунсузян

Помехозащищенность радиотелескопов и порог достоверного обнаружения

В работе [1] сформулировано понятие порога достоверного обнаружения дискретных источников космического радиоизлучения и дана формула, сравнивающая уровень достоверности с аппаратурным порогом чувствительности. При выводе этой формулы предполагалось, что помехи, уменьшающие надежность наблюдений, порождаются приемной аппаратурой и представляют собой, распределенный нормально, так называемый, белый шум.

Наблюдениями, проведенными в последние годы, установлено, что недостаточная разрешающая способность инструментов оказывает существенное влияние на надежность обнаружения. Надежность падает вследствие путаницы, обусловленной, в основном, боковыми лепестками и недостаточной узостью главного лепестка диаграмм антенн. Например, в работе [2] авторы приходят к выводу, что плотность источников, при которой в каталогах появляются ошибки, превышает величину — один источник на 25 диаграмм. Из сообщения [3] известно, что при составлении каталога 3С источники делились на классы А, В и С в порядке достоверности. Оказалось, что один источник класса А приходится на 26 диаграмм, класса В — на 5 диаграмм, а один источник из каталога 2С приходится лишь на 0,5 диаграммы антенны.

Влияние путаницы фактически сводится к повышению порога чувствительности радиотелескопа. Здесь источники выступают в качестве внешних помех. Внешними мы называем всякие помехи извне, воздействующие на антенны радиотелескопа вместе с полезным сигналом. Такие помехи в некоторых конструкциях антенн, минуя фокусирующее зеркало, непосредственно воздействуют на облучатели.

В отличие от аппаратурного порога чувствительности, определяемого внутренними (аппаратурными) помехами (см. [1]), имеет смысл ввести понятие реального порога чувствительности радиотелескопа, определяемого внешними помехами.

Наиболее естественным способом борьбы с внешними помехами является увеличение площади приема антенн, сопровождающееся сужением главного лепестка диаграммы направленности, а также разработка конструкций антенн, в которых ЭДС наводится только за счет приема энергии по направлению главного лепестка. С улучшением антенных систем

влияние внешних помех будет уменьшаться и реальный порог чувствительности будет приближаться к аппаратурному, но это дело будущего. Чувствительность современных радиотелескопов пока еще ограничена внешними помехами (они определяют выходные флуктуации) и следовательно пользование формулой, оценивающей аппаратурный порог чувствительности, лишено смысла. В связи с этим возникает необходимость оценки порога достоверного обнаружения по реальному (а не аппаратурному) порогу чувствительности.

Реальный порог чувствительности можно оценить по распределению внешних помех на записи оконечного индикатора радиотелескопа. Если флуктуации на этих записях распределены по закону близкому к нормальному, то формула, полученная в работе [1], может быть распространена и на случай сравнения порога достоверности с реальным порогом. Сказанное справедливо потому, что вывод этой формулы не зависит от характера помехи, важен лишь ее закон распределения.

Таблица 1

Границы величин амплитуд	Количество амплитуд
0—0,869	1056
0,869—2,197	750
2,197—4,355*	153
4,355—6,505	29
6,505—8,65	8
8,65—10,64	2
10,64—12,67	1
12,67—14,61	1
14,61—20,45	0
> 20,45	6
> 8,65	10

* Амплитуда величиной 4,355 соответствует источнику с потоком

$$S = 10 \cdot 10^{-26} \text{ ат/м}^2 \text{ гц.}$$

Ниже показана таблица, характеризующая распределение амплитуд части выходных записей, по которым составлен каталог ЗС. Эта таблица приводилась в работе [4].

Воспользуемся, кроме того, данными, приведенными в пояснениях к каталогу ЗС (см. [5]). По этим данным достоверно существующими можно признать (с весьма малой вероятностью ошибки) источники с потоками большими $10 \cdot 10^{-26} \text{ ат/м}^2 \text{ гц}$, ибо в основной массе только такие источники надежно подтверждаются другими наблюдениями. Эта цифра представляет собой порог достоверного обнаружения, полученный экспериментально

$$S_{23} \approx 10 \cdot 10^{-26} \text{ ат/м}^2 \text{ гц.} \quad (1)$$

Заметим еще для дальнейшего, что количество источников с потоками большими S_{23} (названных достоверно существующими), согласно фиг. 10 того же первоисточника [5], определяется цифрой

$$N_{23} \approx 30 \frac{\text{источников}}{\text{стерадиан}}. \quad (2)$$

Знание S_{23} позволяет разделить табл. 1 на две части. 47 амплитуд больших, чем 4,355 единиц, обязаны достоверно существующим источникам, остальные 1959 амплитуд обусловлены внутренними и внешними помехами. Интересуясь только помехами и учитывая равную вероятность положительных и отрицательных амплитуд, по данным табл. 1 получаем табл. 2, в которой вместо количества амплитуд даны проценты от общего их числа 1959.

Таблица 2

Шкала амплитуд, $\mu\text{В}$	-4,36; -2,2	-2,2; -0,87	-0,87; 0	0; 0,87	0,87; 2,2	2,2; 4,36
Процент амплитуд	4	19	27	27	19	4

По данным этой таблицы закон распределения амплитуд помех представляется ломаной, показанной на фигуре. Подсчет среднеквадратичного отклонения такого распределения дает

$$\sigma = \sqrt{x^2} = 1,41. \quad (3)$$

Амплитуда величинной 1,41 соответствует потоку $1,41; 4,355 \times 10^{-26} = 3,25 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ гц}$. Эта цифра представляет собой реальный порог чувствительности радиотелескопа.

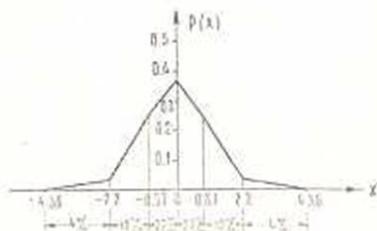
$$S_p \approx 3,3 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ гц}. \quad (4)$$

тогда как аппаратный порог чувствительности по данным [5] оценивается величиной

$$S_{an} \approx 1 \cdot 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ гц}. \quad (5)$$

Полученное значение S_p показывает, что

$$\frac{S_p}{S_{an}} \approx 3,1. \quad (6)$$



$$Q = \frac{S_p}{S_{an}} \approx 3,3. \quad (7)$$

Второе отношение можно назвать коэффициентом помехозащищенности. Этот коэффициент характеризует антенную систему радиотелескопа. Для совершенных антенн он будет близок к единице. Критерий Q удобен для сравнения помехозащищенности различных антенных систем (сосредоточенная площадь приема, интерферометр, крест и др.) Статистические данные записей наблюдений опубликованы не полностью, поэтому подсчет коэффициента Q может быть произведен только самими авторами наблюдений. На наш взгляд такой подсчет представляет значительный интерес. Например, сравнение помехозащищенности систем Райла и Милса могло бы дать рекомендации для будущих разработок антенных систем. Приведенный нами подсчет Q — примитивен, он преследует лишь методическую цель, тем не менее результат (7) позволяет сделать некоторые выводы. Первое, что сразу же привлекает внимание, это неэффективное использование площади приема. Второе более помехозащищенная система могла бы дать такой же результат при втрое меньшей площади приема. В свете сказанного выявление связи Q с конструктивными особенностями антенн представляется весьма интересным и заслуживает всяческого

внимания. Второй, напрашивающийся вывод заключается в том, что при недостаточно помехозащищенных антеннах реализация минимального аппаратурного порога чувствительности не имеет практического смысла.

Обратимся к показанному на фигуре распределению $p(x)$. Если подсчитать площади под кривыми распределения для нормального закона и закона $p(x)$ с одинаковыми $\sigma = 1,14$, то нетрудно получить следующие величины, выраженные в процентах.

Таблица 3

x	Площадь под логанной	Площадь под кривой Гаусса
$x < -3\sigma$	0,3	0,3
$-3\sigma < x < -2\sigma$	2,8	2,0
$-2\sigma < x < -\sigma$	13,8	13,6
$-\sigma < x < 0$	33,1	34,1
$0 < x < \sigma$	33,1	34,1
$\sigma < x < 2\sigma$	13,8	13,6
$2\sigma < x < 3\sigma$	2,8	2,0
$3\sigma < x$	0,3	0,3

Хорошее совпадение цифр в этой таблице говорит о том, что распределение внешних и внутренних помех практически можно считать нормальным. Это обстоятельство, как уже упоминалось, допускает использование теоретической формулы

$$\frac{S_{\text{ар}}}{S_p} = \left[\frac{2^{2H} - 1}{p(1-p)} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (8)$$

выведенной в работе [1].

Здесь мы приводим точное значение формулы. Величина p представляет собой вероятность попадания источника в диаграмму антенны при направлении их в случайную точку небосвода. Эту вероятность легко определить, если известны количество достоверно существующих источников N_{Σ} и телесный угол диаграммы направленности Ω_A

$$p = N_{\Sigma} \Omega_A. \quad (9)$$

В рассматриваемом примере согласно (2) $N_{\Sigma} = 50$ и согласно [3] $\Omega_A = 8$ кв град ($2,4 \cdot 10^{-3}$ стерадиан) и, следовательно,

$$p = 0,12. \quad (10)$$

Величина H , входящая в формулу (8), связана с вероятностью p зависимостью

$$H = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p). \quad (11)$$

Численное ее значение равно

$$H = 0,529. \quad (12)$$

Подставив (10) и (12) в (8), получаем

$$\frac{S_{\text{ДТ}}}{S_p} \approx 3,1. \quad (13)$$

Сравнивая (13) с (6), убеждаемся, что

$$S_{\text{ДТ}} \approx S_{\text{ЭВ}}. \quad (14)$$

Полученный результат является проверкой теоретической формулы и говорит о ее хорошем приближении. Проверка показала, что формула (8), или ее упрощенный вариант

$$\frac{S_{\text{ДТ}}}{S_p} \approx \sqrt{2 \ln \frac{1}{p}}, \quad (15)$$

справедливый для $p < 10^{-2}$, вполне пригодны для практического использования.

Институт радиофизики и электроники
АН Армянской ССР

Поступила 4 VII 1961

Է. Ս. ԲՈՒՆԱՍՅԱՆԻ

ՌԱԳԻՈԱՍՏՂԱԳԻՏԱԿՆԵՐԻ ՊԱՇՏՊԱՆՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԽԱՆԳԱՐՈՒՄՆԵՐԻՑ ԵՎ ՀԱՎԱՍՏԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՇԵՄԲԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հօգիտվում առաջարկվում է մի հայտանիշ՝ ռադիոաստղադիտակների անտենային սխեմաների խանգարումներից պաշտպանված լինելու չափի գնահատության համար և Բեմբրիջի ինտերֆերոմետրի օրինակով ցույց է տրվում նրա էքսպերիմենտալ որոշման հնարավոր եղանակը: Նույն օրինակով ցույց է տրվում, որ խանգարումների բախշման օրենքը մտտ է Գաուս-սյանին: Այդ հանգամանքը հնարավոր է դարձնում ռադիոհաստղադիտման ադրյուրների հալաստի հայտնաբերման շեմքի գնահատությունը գլոբալության իրական շեմքի հիման վրա: Այնուհետև ցույց է տրվում, որ հալաստիության շեմքի գնահատության տեսական բանաձևը լավ համապատասխանություն մեզ է գտնվում դիտումների հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бурнусян Э. С. Порог достоверного обнаружения и предельная чувствительность радиотелескопов. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 13, № 1, 1960.
2. Хазард К. и Уолш Д. Сравнение обзоров дискретных источников радиоизлучения. Радиоастрономия. Парижский симпозиум, 1958, ИЛ, 1961. Сообщение № 87.
3. Дьюхерст Д. В. Оптическое отождествление источников радиоизлучения. Там же. Сообщение № 92.
4. Арчер С. и др. Исследование источников радиоизлучения на частоте 159 мкзг. Там же. Сообщение № 88.
5. EDGE D. O. and others. A survey of radio sources at a frequency of 159 Mc/s. Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol. LXVIII, p. 37, 1959.