

УДК 621.396 628 : 523.164

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОТЕЛЕСКОПОВ И ИНФОРМАЦИЯ

Б. А. Дубинский

Размеры, сложность и стоимость радиотелескопов выросли до такой степени, что их создание и эксплуатация представляют собой значительную народнохозяйственную задачу. В связи с этим возрастает потребность в увеличении эффективности их использования. При этом важную роль играет надлежащий выбор критерия эффективности. Информационный подход к работе радиотелескопа позволяет дать определение этого критерия.

Как известно, носителем радиоастрономической информации является поток радиоизлучения источников. Сигнал на выходе радиотелескопа характеризует величину и изменения этого потока, вызываемые либо нестационарностью источника, либо его движением относительно диаграммы направленности антенны, т. е. его пространственной структурой. В обоих случаях объем поступающей информации оценивается формулой

$$I_{PT} = \Delta F T_n \log_2 \left(\frac{u_{\max}}{\Delta u} \right) \text{ бит}, \quad (1)$$

где ΔF — полоса частот выходного канала, Δu — шаг квантования выходного сигнала, u_{\max} — максимальный уровень выходного сигнала, T_n — длительность выходного сигнала или время наблюдения.

В основу определения критерия может быть положен следующий принцип: чем больше информации получено с выхода радиотелескопа в течение данного периода эксплуатации, тем более эффективно использован радиотелескоп в этот период. При количественной оценке информации отвлекаются от ее содержательности или, иначе говоря, от качественной оценки сведений. В частности, это означает, что чувствительность радиотелескопа в данном рассмотрении не должна играть самостоятельной роли. Она наряду с некоторыми другими характеристиками радиотелескопа определяет класс инструмента, т. е. качественную сторону получаемой информации. Это не означает, что чувствительность не может влиять на количество информации, определяя, например, нижнюю границу ширины полосы пропускания или нижний уровень шага квантования выходного сигнала.

Из трех сомножителей в правой части (1) лишь один сомножитель T_n связан с эксплуатационными (организационными) условиями, в то время как величины двух других обусловлены техническими возможностями и требованиями наблюдательных задач и, следовательно, не должны влиять на оценку эффективности использования. Таким образом, в соответствии с принятым принципом, оценка эффективности должна быть пропорциональна T_n и обратно пропорциональна времени эксплуатации $T_{\text{экспл}}$, т. е. должна измеряться отношением $\chi_n = T_n / T_{\text{экспл}}$.

Коэффициент χ_n может оценивать эффективность использования

радиотелескопа только в тех случаях, когда наблюдательные данные не утрачивают свою научную ценность в течение всего времени наблюдения, сколько бы оно не продолжалось. Такое положение имеет место только при наблюдениях переменных источников радиоизлучения (активные области на Солнце, пульсары и др.). Большинство известных космических источников являются, однако, стационарными*. Их пространственное распределение интенсивности содержит ограниченное количество информации, доступное наблюдателю, вооруженному радиотелескопом с фиксированными характеристиками (диаграмма направленности, поляризация, диапазон волн, чувствительность и др.).

Количество информации, содержащееся в наблюдениях всех стационарных источников, занимающих телесный угол $\Delta\Omega$, равно

$$I_{\Delta\Omega} = \Delta\Omega \Delta\tilde{F} \log_2 \left(\frac{u_{\max}}{\Delta u} \right) \text{ бит}, \quad (2)$$

где $\Delta\tilde{F}$ — эффективная площадь пространственно-частотной характеристики (пространственного спектра Фурье) диаграммы направленности антенны; например, для параболоидной антенны диаметром D с равномерным распределением поля по раскрытию $\Delta\tilde{F} \approx 0,2 D^2/\lambda^2$, где λ — рабочая длина волны.

С другой стороны, пропускная способность радиотелескопа в соответствии с (1) равна $\Delta F \log_2 \left(\frac{u_{\max}}{\Delta u} \right)$ или $\frac{1}{2\tau} \log \left(\frac{u_{\max}}{\Delta u} \right)$, где τ — постоянная времени выходного канала (время накопления).

Сопоставление объема информации (2) с пропускной способностью радиотелескопа приводит к следующему выражению времени, необходимого для исследования участка небесной сферы размером $\Delta\Omega$,

$$T_c = 2\Delta\Omega \Delta\tilde{F} \tau. \quad (3)$$

Время, необходимое для обзора половины неба ($\Delta\Omega = 2\pi$) в одной поляризации и на одном частотном диапазоне с помощью различных антенн, приведено в таблице.

Таблица 1

Минимальное рабочее время наблюдения, необходимое для обзора полусферы неба с помощью различных радиотелескопов

№	Тип радиотелескопа	Размеры апертуры, м ²	Длина волны, м	Постоянная времени выходных цепей, сек	Время одного обзора, годы
1	Аддитивная антенна	A	λ	τ	$\frac{\pi A}{\lambda^2} \tau 3,1 \times 10^{-8}$
2	Параболоидная антенна	$\varnothing 22$	8×10^{-3}	1	0,6
		$\varnothing 64$	3×10^{-2}	1	0,5
3	Антенна переменного профиля (АПП)	135×3	8×10^{-3}	1	0,6
		400×5	8×10^{-3}	1	3,2
4	Антенна с незаполненной апертурой	$10^3 \times 10^3$ (кестообр.)	2	1	$2,5 \times 10^{-2}$
		$1,8 \cdot 10^3 \times 0,9 \cdot 10^3$ (Т-образн.)	12	1	5×10^{-3}

* Или квазистационарными с точки зрения методов их исследования.

Время, затрачиваемое на обзор сверх положенного по формуле (3), с информационной точки зрения неэффективно, если, конечно, дополнительная затрата времени не используется для повышения чувствительности путем накопления сигнала, что, по существу, означает соответствующее увеличение параметра τ .

Эффективность использования радиотелескопа в случае исследования стационарных источников целесообразно оценивать коэффициентом, аналогичным приведенному ранее для случая нестационарных источников, $\kappa_c = T_c/T_{\text{экспл}}$. Это позволяет ввести одну унифицированную оценку эффективности использования радиотелескопа (применяемого для наблюдений как нестационарных, так и стационарных источников) коэффициентом $\kappa = (T_c + T_n)/T_{\text{экспл}}$.

Радиотелескопы высокого класса позволяют одновременно производить наблюдения в разных поляризациях, разных диапазонах волн (сложные облучатели) и различных пространственных направлениях (многолучевые или многоканальные антенны).

При оценке эффективности использования радиотелескопов такого класса необходимо учитывать, что n -канальность фактически эквивалентна n -кратному увеличению времени эксплуатации одноканального варианта радиотелескопа. Здесь n — число независимых каналов, различающихся или поляризацией, или диапазоном волн, или направлением луча. Таким образом, в общем случае коэффициент, измеряющий эффективность использования радиотелескопа, приобретает вид

$$\kappa = \frac{T_c + T_n}{n T_{\text{экспл}}} \quad (4)$$

Здесь T_n — суммарное время наблюдения нестационарных источников по всем выходным каналам, T_c — суммарное время наблюдения стационарных источников по всем выходным каналам, определяемое для всех частотных диапазонов и для всех видов поляризации по формуле (3).

Фактически коэффициент κ является оценкой той доли эксплуатационного времени, которая продуктивно потрачена на приобретение радиоастрономической информации. Максимальное значение коэффициента эффективности равно 1.

Эксплуатационной характеристикой работы радиотелескопа может служить средняя информационная производительность радиотелескопа C , определяемая аналогично пропускной способностью каналов связи:

$$C = \sum_{i=1}^n \kappa_i \Delta F_i \log_2 \left(\frac{u_{\text{max}}}{\Delta u} \right)_i \text{ бит/сек},$$

где i — номер канала радиотелескопа. Коэффициент эффективности κ_i здесь вычисляется для каждого канала в отдельности. Чем больше C , тем больший объем информации поступает от радиотелескопа в единицу рабочего времени. C помощью величины C можно оценивать также потребности обсерватории в электронной вычислительной технике для обработки наблюдательных данных.