Оценка параметров двухканальной радиометрической системы по локальному источнику шумового сигнала

Е.В. Федосеева, И.Н. Ростокин, П.А. Ечин

Муромский институт Владимирского государственного университета,
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул.Орловская, 23
E-mail: rt@mivlgu.ru

Рассматриваются возможности практической реализации способа оценки параметров радиометрической системы с двухканальной антенной системой и модуляционным радиометром по излучению локального источника шумового сигнала, расположенного в дальней зоне антенны.

Possibilities of practical realisation of a way of an estimation of parametres of radiometric system with two-channel antenna system and switching radiometer on radiation of a local source of the noise signal located in a distant zone of the aerial are considered.

Введение

При проведении измерений радиошумового излучения окружающего пространства одной из основных является задача выделения сигнала, обусловленного приемом излучения из области зондирования – угловой области главного лепестка ДН антенны. В [1] предложена радиометрическая система, в состав которой входит дополнительный приемный канал, выходной сигнал которого пропорционален уровню фонового излучения, принимаемого основным каналом через область рассеяния ДН основного измерительного канала, с последующей компенсацией соответствующей помеховой компоненты выходного сигнала основного антенного канала.

Предварительная настройка с позиции оптимизации практической реализации предложенного алгоритма компенсации фоновых помех и последующая калибровка радиометрической системы предполагает установление однозначного соответствия между измеряемой радиояркостной температурой исследуемого объекта и выходным сигналом радиометрического приемника. Для идеальной настройки и калибровки радиометрической системы необходимо иметь набор эталонных излучающих элементов, расположенных в дальней зоне антенны с известными значениями радиояркостной температуры, перекрывающими весь диапазон ее возможного изменения для исследуемых объектов, а также достаточную пространственную протяженность, превышающую размеры пятна осреднения главного лепестка диаграммы направленности антенны [2], что с точки зрения практической реализации всех указанных требований к калибровочным элементам не всегда возможно.

Задача еще более усложняется в случае применения системы с двухканальной антенной с последующей реализацией операции компенсации помеховых компонент входного сигнала [1]. В таком случае дополнительно необходимо решать вопрос предварительной относительной оценки параметров двух антенных каналов с позиции установления соответствия выходных сигналов в связи с их различным коэффициентом передачи антенных каналов. В качестве варианта решения данной задачи возможно применение локального источника с регулируемым уровнем шумового сигнала.

Цель работы *– получить математическую модель оценки параметров радиометрической системы с двухканальной антенной по локальному источнику шумового сигнала, оценить результаты относительной калибровки системы по внешнему сигналу от генератора шума с регулируемым уровнем сигнала.*

Математическая модель оценки параметров и калибровки радиометрической системы с двухканальной антенной

Для построения математической модели оценки параметров и калибровки радиометрической системы с двухканальной антенной по локальному источнику шумового сигнала рассмотрим антенные температуры сигналов при расположении по оси антенны источника шумового сигнала, например, полупроводникового генератора шума, выход которого соединен с рупорной антенной, создающей определенное угловое распределение шумовой энергии. При условии расположения источника шумового сигнала в дальней зоне антенны радиометрической системы его можно рассматривать как точечный, учитывая его угловой размер относительно углового размера главного лепестка диаграммы направленности. Тогда выражения для антенных температур основного и дополнительного антенного канала имеют вид

$$T_{аосн} = T_{гл}(1-\beta)\eta + T_{эи}\frac{\theta_{эи}}{\theta_{гл}} + T_{фон}\beta\eta + T_0(1-\eta), \quad (1)$$

$$T_{адоп} = T_{гл}(1-\beta_{доп}\kappa_{доп})\eta + T_{эи}\int_{\theta_{эи}} F_{доп}(\theta)d\theta + T_{фон}\beta_{доп}\kappa_{доп}\eta + T_0(1-\eta), \quad (2)$$

где $T_{гл}$ и $T_{фон}$ - радиояркостные температуры угловых областей главного лепестка и области рассеяния диаграммы направленности антенны; $T_{эи}$ - шумовая температура эталонного источника на входе антенны; β и $\beta_{доп}$ - коэффициенты рассеяния основного и дополнительного антенного канала системы; T_0 - термодинамическая температура антенны; $\kappa_{доп}$ - относительный коэффициент передачи по мощности дополнительного антенного канала; $\theta_{эи}$ и $\theta_{гл}$ - угловые области эталонного источника и главного лепестка диаграммы направленности основного антенного канала.

При условии малого углового размера эталонного источника шумовой температуры величину $\frac{\theta_{эи}}{\theta_{гл}}$ можно принять равной коэффициенту передачи основного канала $\kappa_{осн}$, а $\int_{\theta_{эи}} F_{доп}(\theta)d\theta$ - коэффициенту передачи дополнительного канала $\kappa_{доп}$.

Выходные сигналы двухканальной радиометрической системы в значениях антенных температур при измерениях по локальному источнику шумового сигнала, включая модовый разделитель и радиометр, могут быть записаны в виде

$$T_{осн} = T_{измосн} + T_{эи}\kappa_{осн}, \quad (3)$$

$$T_{доп} = T_{измдоп} + T_{эи}\kappa_{доп}. \quad (4)$$

В условиях проведения измерений в достаточно однородных условиях окружающего пространства – лаборатория с поглощающим покрытием - выходные сигналы антенны оказываются пропорциональными коэффициентам передачи соответствующих приемных каналов, а применение эталонного источника шумового сигнала с регулируемым уровнем позволяет откалибровать шкалу радиометра в широких пределах.

По аналогии с известными соотношениями [2] оцениваются параметры линейной зависимости между входной мощностью и выходным напряжением радиометра двух антенных каналов

$$U_a = ST_a + U_0, \quad (5)$$

$$S = \frac{U_1 - U_2}{(T_{эи}\alpha_1) - (T_{эи}\alpha_2)}, \quad (6)$$

$$U_0 = \frac{(T_{эи}\alpha_1)U_2 - (T_{эи}\alpha_2)U_1}{(T_{эи}\alpha_1) - (T_{эи}\alpha_2)}, \quad (7)$$

где U_a - амплитуда напряжения антенного сигнала на выходе радиометра; S - крутизна шкалы радиометра; U_0 - начало отсчета шкалы радиометра; $T_{эи}\alpha_1$ и $T_{эи}\alpha_2$ - разностный уровень антенной температуры при двух значениях введенного ослабления на генераторе шума, что определяет минимально необходимое число уровней эталонного сигнала равное трем.

Выражения (5) - (7) позволяют предложить вариант оценки относительного коэффициента передачи дополнительного канала, т.е. калибровки параметра облучателя двухканальной антенны с разделением сигналов на двух модах круглого волновода [1], при условии, что шкала радиометра откалибрована в значениях температур сигнала на его входе. Взаимосвязь температуры сигнала на входе радиометра и входе облучателя имеет вид

$$T_{вхосн} = T_{эи}\alpha\kappa_{осн} + T_{0осн}, \quad (8)$$

$$T_{вхдоп} = T_{эи}\alpha\kappa_{доп} + T_{0доп}, \quad (9)$$

где $T_{вхосн}$ и $T_{вхдоп}$ - температуры сигналов на входе радиометра по основному и дополнительному каналу.

Параметры линейной зависимости в (8) и (9) определяются при наличии результатов измерения двух уровней температур эталонного источника по соотношениям

$$\kappa = \frac{T_{вх2} - T_{вх1}}{(\alpha_2 - \alpha_1)T_{эи}}, \quad (10)$$

$$T_0 = \frac{\alpha_1 T_{вх2} - \alpha_2 T_{вх1}}{\alpha_1 - \alpha_2}, \quad (11)$$

где α_1 и α_2 - два разных уровня ослабления сигнала от эталонного источника.

Относительный коэффициент передачи дополнительного канала равен

$$\frac{\kappa_{доп}}{\kappa_{осн}} = \frac{(T_{вхдоп} - T_{0доп})/\alpha_{доп}}{(T_{вхосн} - T_{0осн})/\alpha_{осн}}. \quad (12)$$

Наличие нескольких результатов измерения при различных уровнях ослабления α позволяет при расчете по выражению (12) более точно оценить относительный коэффициент передачи дополнительного канала.

Результаты экспериментальных исследований

С целью проверки возможности оценки параметров и калибровки радиометрической системы с двухканальной антенной были проведены измерения при введении в дальнюю зону антенны источника шумового излучения с калиброванным регулируемым уровнем шумовой мощности.

Предварительно была проведена калибровка шкалы радиометра без антенны в величинах температур в Кельвинах путем подключения на его вход согласованных нагрузок при температурах 0?С и 100?С.

На рис. 1 приведена зависимость уровня выходного сигнала основного измерительного канала при введении ослабления сигнала эталонного источника шумового сигнала в 5, 10, 15 дБ.

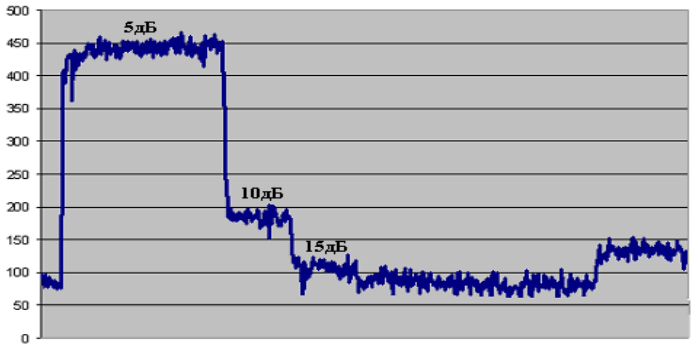

Рис. 1.

На рис. 2 приведена зависимость уровня выходного сигнала дополнительного измерительного канала при введении ослабления сигнала эталонного источника шумового сигнала в 0, 1, 2,3 дБ.

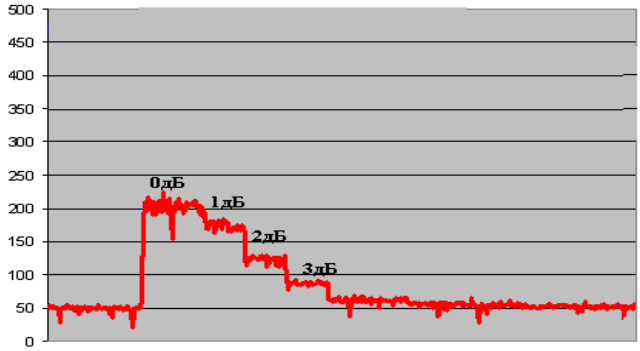

Рис. 2.

По представленным зависимостям проводилась оценка относительного коэффициента передачи дополнительного канала, результаты которой приведены в таблице.

Таблица 1.

$\alpha_{осн}$, дБ	$\alpha_{доп}$, дБ	$\frac{\kappa_{доп}}{\kappa_{осн}}$
-5	0	0.345
-5	1	0.341
-10	0	0.336
-10	1	0.338

Результаты расчета относительного коэффициента передачи дополнительного канала для различных величин ослабления сигнала эталонного источника показывают, что для данной конкретной двухканальной антенны его величина может быть принята равной 0.34.

Выводы

Полученные результаты измерений по локальному внешнему источнику шумовой температуры позволяют сделать вывод о возможности практического применения данной процедуры в лабораторных условиях для предварительной оценки параметров и калибровки системы с дополнительным приемом по каналу компенсации при решении вопроса оптимизации коэффициента передачи дополнительного антенного канала.

Литература

1. Патент на полезную модель № 91630 оп. в бюл. №5 от 20.02.2010г. Радиометрическая система с компенсацией аддитивных внешних фоновых помех/ Федосеева Е.В.
2.Степаненко В.Д., Щукин Г.Г. и др. Радиотеплолокация в метеорологии - Л.: Гидрометеоиздат, 1987.