

Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

АНТЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЧ РАДИОТЕПЛОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНЫХ СРЕД С КОМПЕНСАЦИЕЙ ФОНОВЫХ ШУМОВ

Федосеева Елена Валерьевна

кандидат технических наук, доцент Муромского института (филиала)
ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru.*Адрес:* 602264 Муром, ул. Орловская, д. 23.

Аннотация: Получены аналитические выражения для антенных температур радиотеплолокационных систем, в которых предусмотрено формирование дополнительного сигнала для компенсации влияния фоновых шумов на результаты измерений при радиотеплолокационном контроле, которые позволяют аналитически оценить эффективность применения двухканальных антенных систем в задачах аппаратурной компенсации фоновых шумов.

Ключевые слова: антенная температура, компенсация фоновых шумов, двухканальный прием, СВЧ системы радиотеплолокационного контроля параметров природных сред.

Введение

При радиотеплолокационном контроле параметров природных сред измеряется радиояркая температура исследуемой области окружающего пространства, которую оценивают по величине выходного сигнала радиотеплолокационной системы. Ограниченная пространственная селективность антенн СВЧ диапазона и, в результате, прием радиошумового излучения из всего окружающего антенну пространства, приводят к необходимости выделения информационной составляющей входного сигнала, определяемой приемом по области главного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны. Погрешности измерения радиояркой температуры, обусловленные влиянием фонового шума, оказываются значительными в мобильных высокочувствительных системах радиотеплолокационного контроля параметров природных сред [1]. Поэтому при разработке таких систем актуальным является вопрос компенсации влияния фонового шума на результаты измерений.

Известный подход к решению указанной задачи – формирование дополнительного сиг-

нала, адекватного помеховой составляющей входного сигнала, с последующей реализацией процедуры нахождения разности двух сигналов. В результате в выходном сигнале, пропорциональном разности антенных температур основного и дополнительного антенных каналов, помеховая составляющая оказывается скомпенсированной [2].

Задание разностной антенной температуры СВЧ радиотеплолокационной системы с компенсацией фоновых шумов без учета соотношения мощностей входных сигналов возможно при использовании одной и той же антенны для формирования основного измерительного и дополнительного компенсационного сигналов, например, в методе диаграммной модуляции при измерении радиояркого контраста локального объекта [2]. При получении дополнительного сигнала компенсации на выходе отдельной антенны или при реализации на одной и той же антенне второй ДН [3-5] возникает задача анализа соответствия уровней двух входных сигналов радиотеплолокационной системы.

В данной статье рассмотрена разностная антенная температура СВЧ радиотеплолокационных систем с учетом условий формирования дополнительного сигнала компенсации фоновых шумов при одноканальном и двухканальном приеме.

Антенная температура системы радиотеплолокационного контроля

Антенная температура СВЧ радиотеплолокационной системы определяется уравнением антенного сглаживания

$$T_a = \int_{4\pi} T_{ярк} F(\Omega) d\Omega, \quad (1)$$

где $T_{ярк}$ – измеряемая радиояркая температура; $F(\Omega)$ – ДН по мощности антенны.

Для установления соответствия антенной и радиояркой температуры принимается условие нормировки [2]

$$\int_{4\pi} F(\Omega) d\Omega = 1, \quad (2)$$

которое вытекает из условия термодинамического равновесия между антенной и средой. Так, в случае, когда во всем окружающем антенну пространстве радиояркая температура постоянна $T_{ярк} = const$, выполняется равенство антенной и радиояркой температуры (антенна без потерь)

$$T_a = T_{ярк}. \quad (3)$$

С учетом условия (2) при выделении в ДН антенны угловых областей, соответствующих главному лепестку и боковым и задним лепесткам ДН антенны, а также при введении усредненных значений радиоярких температур по указанным областям, выражение для антенной температуры принимает вид [6]

$$T_a = \bar{T}_{зл}(1 - \beta)\eta + \bar{T}_{бок}\beta\eta + T_0(1 - \eta), \quad (4)$$

$$\beta = 1 - \frac{\int_{\Omega_{зл}} F(\Omega) d\Omega}{\int_{4\pi} F(\Omega) d\Omega}, \quad (5)$$

где $\bar{T}_{зл}$ и $\bar{T}_{бок}$ – усредненные значения радиоярких температур угловых областей главного лепестка и боковых и задних лепестков ДН; β – коэффициент рассеяния антенны; η –

КПД антенны; T_0 – термодинамическая температура антенны.

В выражении (4) первое слагаемое задает информационную составляющую входного сигнала системы, а второе и третье – помеховые составляющие, причем второе обусловлено вкладом фоновых шумов в выходной сигнал антенны. Помеховые составляющие антенной температуры определяют систематическую погрешность измерения радиояркой температуры исследуемой области, соответствующей угловой области главного лепестка ДН антенны. Поэтому при выполнении измерений должна быть решена задача исключения помеховой составляющей входного сигнала, т.е. обеспечена ее компенсация. Возможный вариант решения данной задачи – формирование дополнительного сигнала компенсации и ее аппаратная реализация в приемнике радиотеплолокационной системы, например, при применении модуляционного радиометра.

Антенная температура системы радиотеплолокационного контроля при одноканальном приеме радишумового излучения

При формировании основного измерительного и дополнительного сигнала компенсации в методе диаграммной модуляции при измерении радиояркого контраста используется одна и та же антенна, направленная соответственно на область исследования и соседнюю с ней область. Поэтому для антенных температур основного и дополнительного сигнала выполняются соотношения (1) – (3). При формировании сигнала компенсации антенная температура равна

$$T_{адоп} = \bar{T}_{бок}(1 - \beta')\eta + \bar{T}_{зл}\beta'\eta + T_0(1 - \eta), \quad (6)$$

где β' – частичный коэффициент рассеяния, характеризующий относительную долю мощности, принимаемую из угловой области, в которой расположен объект исследования $\Omega_{об}$, и равен

$$\beta' = 1 - \frac{\int_{\Omega_{об}} F(\Omega) d\Omega}{\int_{4\pi} F(\Omega) d\Omega}.$$

Тогда разностная антенная температура определяется выражением

$$\Delta T_a = \bar{T}_{zl}(1 - \beta - \beta') + \bar{T}_{бок}(\beta - \beta'). \quad (7)$$

Согласно выражению (7), точность компенсации фоновых шумов зависит от размера объекта исследования и от величины его радиояркого контраста.

Антенная температура системы радиотеплолокационного контроля при двухканальном приеме радиотеплового излучения

Если дополнительный сигнал компенсации формируется на выходах двух антенн, различающихся конструктивно и характеристиками направленности [7], или в системе применяется одна антенна, в которой формируются две ДН, например, при осуществлении приема на двух различных модах [4], тогда необходимо рассматривать двухканальный прием в радиотеплолокационной системе, учитывая коэффициенты передачи по мощности обоих антенных каналов при нахождении разностной антенной температуры.

В обоих вариантах двухканального приема выходные сигналы формируются одновременно на двух выходах общей антенны, поэтому на входе приемника радиотеплолокационной системы выделяется шумовая мощность, обусловленная приемом одновременно по двум каналам, независимо от условий их временного разделения в приемнике при реализации модуляционного принципа приема. При принятии данного положения при решении задачи анализа соответствия мощностей входных сигналов при двухканальном приеме сначала следует рассмотреть суммарную антенную температуру

$$T_{a\Sigma} = T_{aосн} + T_{aдоп} = \int_{4\pi} T_{ярк} F_{осн}(\Omega) d\Omega + \int_{4\pi} T_{ярк} F_{доп}(\Omega) d\Omega, \quad (8)$$

где $F_{осн}(\Omega)$ и $F_{доп}(\Omega)$ – ДН основной и дополнительной антенн радиотеплолокационной системы.

Тогда аналогично (2) для двухканального приема при термодинамическом равновесии в

окружающем пространстве должно выполняться условие

$$\int_{4\pi} F_{осн}(\Omega) d\Omega + \int_{4\pi} F_{доп}(\Omega) d\Omega = 1. \quad (9)$$

В выражении (9) первое слагаемое эквивалентно суммарной приемной мощности на выходе основного антенного канала при однородной единичной мощности принимаемого радиотеплового излучения из окружающего пространства, второе слагаемое задает аналогичную величину для дополнительного антенного канала. В таком случае антенные температуры двух каналов связаны через соотношение суммарных выходных мощностей.

Сигналы на выходе двух антенных каналов в радиотеплолокационной системе с формированием сигнала компенсации в значениях антенной температуры могут быть записаны в виде

$$\begin{aligned} T_{aосн} &= \bar{T}_{zl}(1 - \beta_{осн})\eta + \bar{T}_{бок}\beta_{осн}\eta + T_0(1 - \eta), \\ T_{aдоп} &= \bar{T}_{zl}(1 - \beta_{доп})\eta + \bar{T}_{бок}\beta_{доп}\eta + T_0(1 - \eta), \end{aligned} \quad (10)$$

где $\beta_{осн}$ и $\beta_{доп}$ – коэффициенты рассеяния ДН основного и дополнительного каналов, нормированные соответственно по суммарной мощности основного и дополнительного канала.

Для определения разностной антенной температуры, согласно процедуре компенсации фоновых шумов в радиотеплолокационной системе, необходимо учесть соотношение мощностей двух антенных каналов. С этой целью антенная температура дополнительного канала может быть записана в виде

$$\begin{aligned} T'_{aдоп} &= \frac{\int_{4\pi} F_{доп} d\Omega}{\int_{4\pi} F_{осн} d\Omega} [\bar{T}_{zl}(1 - \beta_{доп})\eta + \bar{T}_{бок}\beta_{доп}\eta] + \\ &+ T_0(1 - \eta). \end{aligned} \quad (11)$$

Тогда разность антенных температур основного и дополнительного канала определяется соотношением

$$\begin{aligned} \Delta T_a &= \bar{T}_{zl}(1 - D_{доп}/D_{осн} - \beta_{осн} + \beta'_{доп})\eta + \\ &+ \bar{T}_{бок}(\beta_{осн} - \beta'_{доп})\eta, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\beta'_{доп}$ – коэффициент рассеяния ДН дополнительного антенного канала, нормированный к суммарной принимаемой мощности основным каналом, $D_{осн}$ и $D_{доп}$ – коэффициенты на-

правленного действия основного и дополнительного антенного канала.

Введение нормирующего множителя в выражении (9) определяет принцип оценки эффективности применения двухканальной антенны для компенсации фоновых шумов. В первом приближении можно рассматривать разностную ДН двухканальной антенны при нормировании ДН дополнительного антенного канала по уровню максимальной принимаемой мощности основным антенным каналом. В качестве примера на рис. 1 приведены сечения ДН основного и дополнительного антенного каналов в осевой плоскости (нормированная зависимость принимаемой мощности по углу места Θ) при приеме на длине волны 3.2 см рупорной антенной с радиусом раскрытия 6 см на двух волнах круглого волновода H_{11} (кривая 1 – $F_{H_{11}}(\Theta)$) и E_{01} (кривая 2 – $F_{E_{01}}(\Theta)$) при выполнении соответствующей нормировки по максимуму мощности на волне H_{11} , а на рис. 2 разностная ДН указанной антенны $\Delta F(\Theta) = F_{H_{11}}(\Theta) - F_{E_{01}}(\Theta)$.

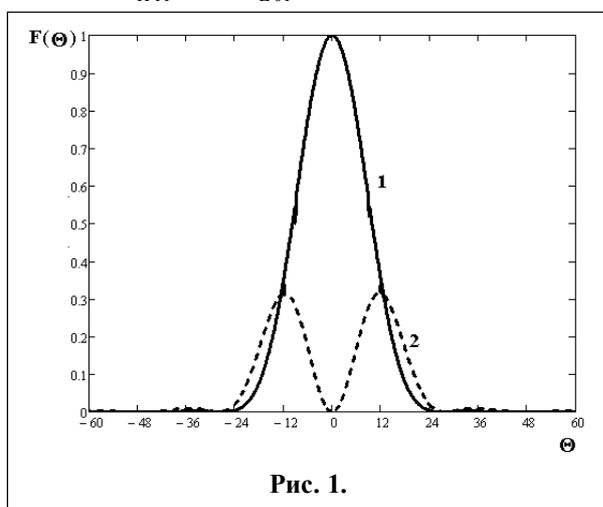


Рис. 1.

В разностной ДН двухканальной антенны (рис. 2) при введенной специальной нормировке ДН дополнительного канала имеет место более узкая (практически в два раза) по сравнению с ДН основного антенного канала (рис. 1 кривая 1) угловая область полного главного лепестка, что определяет увеличение пространственного разрешения системы. В области рассеяния, особенно в ближней боковой области, уровень ДН ниже, чем в ДН основного

канала, что задает уменьшение уровня помеховой составляющей входного сигнала. Таким образом, применение двухканальной двухмодовой рупорной антенны в радиотеплолокационной системе позволяет решить задачу снижения помехового влияния фоновых шумов.

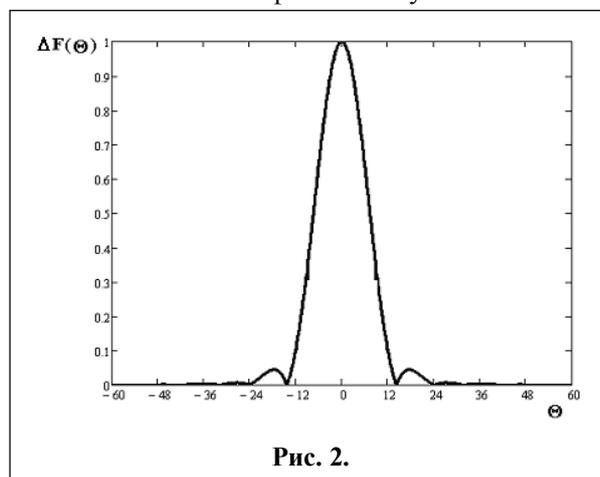


Рис. 2.

Заключение

Полученные выражения позволяют выполнять проверку эффективности компенсации фоновых шумов при радиотеплолокационном контроле параметров природных сред независимо от конкретного способа реализации антенны для одноканального или двухканального приема.

На основе проведенного анализа соответствие направленных свойств антенной системы для двухканального приема требованиям задачи компенсации фоновых шумов в первом приближении может быть оценено по ДН основного и дополнительного каналов при одинаковой нормировке по величине максимальной приемной мощности основного антенного канала.

Литература

1. Федосеева Е.В., Щужин Г.Г. Вопросы метрологического обеспечения радиотеплолокационных измерений в условиях действия внешних шумовых помех. Монография – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012. – 104 с.
2. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. – Москва: Наука, 1972. – 416 с.
3. Федосеева Е.В., Щужин Г.Г., Ростокин И.Н., Ростокина Е.А. Компенсация помех в работе СВЧ радиометрических систем // Радиотехнические и

телекоммуникационные системы. – 2014. - №1. – С.50 – 62.

4. Федосеева Е.В., Ростокин И.Н. Радиометрическая система с дополнительным каналом формирования сигнала компенсации // Труды ГГО. – 2010. – Вып. 562. – С. 243-257.

5. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Ростокина Е.А. Метод компенсации фонового излучения в

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранта №14-02-97510 р_центр_а.

Поступила 25 апреля 2014 г.

СВЧ радиометрической системе дистанционного зондирования атмосферы // Сб. докл. Всеросс. научн. конф. «IV Всероссийские Арmandовские чтения», Муром, 27-29 мая 2014 г. – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2014. – С.216-220

6. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. – М.: Сов. радио, 1976. – 352 с.

English

Antenna temperatures of microwave radio-heat location monitoring systems of natural environments parameters with compensation of background noise

Fedoseeva Elena Valerjevna – Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Radio Engineering Murom Institute (branch) “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

Address: Orlovskaya st., 23, Murom, 602264, Russia.

Abstract: Analytical expressions for antenna temperatures of radio-heat location systems in which the formation of an additional signal for influence compensation of background noise on the results of measurements in radio-heat location control are received. They allow to estimate analytically the efficiency of the use of two-channel antenna systems in the problems of hardware compensation of background noise, The need of introduction of additional normalizing multipliers equal to the relations of total capacities, for obtaining differential antenna temperature for providing two-channel reception and differential algorithm of formation in the system of an output signal, by which the radio brightness temperature of the studied area of the natural environment is estimated, is shown, and controlled physical parameters are defined. The possibility of efficiency assessment of application of the two-channel antenna according to directional patterns of antenna channels is shown at a normalization of the directional pattern of the additional channel in the maximum size of the accepted power in unit of a space angle. Directional patterns of the two-channel antenna are given at reception implementation in two fashions of a round wave guide at the offered normalization, and also angular dependence of differential accepted power with uniform surrounding background.

Key words: antenna temperature, compensation of background noise, two-channel reception, microwave systems of radiometric control of environments parameters.

References

1. Fedoseeva E.V., Shhukin G.G. The problems of metrological support of radio-heat location measurements under the conditions of external noise interference :monography. Murom: IPC MI VIGU, 2012. 104 p.
2. Esepkina N.A., Korolkov D.V., Pariysky Yu.N. Radio Telescopes and Radiometers. M.: Nauka, 1972. 416 p.
3. Fedoseeva E.V., Shhukin G.G., Rostokin I.N., Rostokina E.A. Interference compensation in microwave radiometric system operation. Radio-tehnicheskie i telekommunikacionnye sistemy. 2014. №1. P. 50 – 62.
4. Fedoseeva E.V., Rostokin I.N. Radiometric System with Secondary Channel of Compencation Signal Generation. Trudy GGO. 2010. Vyp. 562. P. 243-257.
5. Rostokin I.N., Fedoseeva E.V., Rostokina E.A. The compensation method of background radiation in microwave radiometric system of distant sounding of atmosphere. Sb. dokl. vseross. nauchn. konf. «IV Vserossijskie Armandovskie chtenija», Murom, 27-29 May 2014. Murom: IPC MI VIGU, 2014. P.216-220/
6. Tsejtin N.M. Antenna technique and radio astronomy. M.: Sov. radio, 1976. 352 p.