

Погрешности измерения радишумового излучения протяженных атмосферных образований радиометрической системой с компенсацией фоновых помех

Е.В. Федосеева

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

Анализируются причины систематических погрешностей измерения радишумового излучения протяженных образований радиометрической системой с компенсацией фоновых помех, и проводится их численная оценка исходя из параметров двухканальной антенны.

The reasons of regular errors of measurement of radio noise radiation of extended formations by radiometric system with indemnification of background hindrances are analyzed, and their numerical estimation proceeding from parametres of the two-channel aerial is spent.

Исследование протяженных атмосферных образований радиометрическими методами связано с необходимостью решения вопроса выделения в составе входного сигнала системы части мощности, определяемой шумовым излучением зондируемого объекта, т.к. ограниченная пространственная селективность антенн приводит к наличию во входном сигнале составляющих, обусловленных приемом относительно высокотемпературного фонового излучения создаваемой подстилающей поверхностью через область рассеяния антенны. Сложность решения данного вопроса определяется существенным изменением взаимного расположения области рассеяния антенны по отношению к неоднородному окружающему фону при перемещении главного луча антенны по протяженному объекту, что ограничивает возможность применения для оценки его радиояркостного контраста метода диаграммной модуляции.

В [1] предложена радиометрическая система, в которой одновременно с входным измерительным сигналом в дополнительном антенном канале формируется сигнал компенсации, уровень которого адекватен помеховой составляющей входного сигнала, обусловленной приемом фонового излучения окружающего пространства.

Цель работы – проанализировать возможные систематические погрешности оценки радиояркостной температуры протяженного атмосферного образования радиометрической системой с каналом формирования сигнала компенсации.

Преимущество метода одновременной с процессом измерения компенсации помеховых компонент при использовании в системе дополнительного приемного канала состоит в неизменности углового положения антенны в процессе проведения измерений, что упрощает и ускоряет процесс выделения информационной составляющей входного сигнала.

В процессе измерений в такой системе формируются два входных сигнала, уровень которых можно оценить величиной антенной температуры

- основного измерительного канала

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

- дополнительного канала формирования сигнала компенсации

$$T_{\text{доп}} = [\bar{T}_{\text{зл}}(1 - \beta_{\text{доп}})\eta + \bar{T}_{\text{бок}}\beta_{\text{доп}}\eta]k_{\text{доп}} + T_0(1 - \eta), \quad (2)$$

где $\bar{T}_{\text{зл}}$ и $\bar{T}_{\text{бок}}$ - усредненная по области главного лепестка и области рассеяния радиояркостная температура; β и $\beta_{\text{доп}}$ - коэффициент рассеяния основного и дополнительного антенного канала; η - КПД антенны; T_0 - термодинамическая температура антенны; $k_{\text{доп}}$ - относительный коэффициент передачи дополнительного антенного кана-

ла, в частности при использовании двухмодовой антенны [2] численное значение $\kappa_{\text{дон}}$ определяется условиями возникновения высшего типа волны – моды в антенне и энергетическими соотношениями основной и высшей моды.

Выходной сигнал системы пропорционален разности антенных температур сигналов основного и дополнительного канала

$$\Delta T = T_{\text{инф}} + T_{\text{ном}}, \quad (3)$$

$$T_{\text{инф}} = \bar{T}_{\text{эл}} \eta ((1 - \beta) - (1 - \beta_{\text{дон}}) \kappa_{\text{дон}}), \quad (4)$$

$$T_{\text{ном}} = \bar{T}_{\text{бок}} \eta (\beta - \beta_{\text{дон}} \kappa_{\text{дон}}), \quad (5)$$

где $T_{\text{инф}}$ - информационная составляющая в составе выходного разностного сигнала ΔT ; $T_{\text{ном}}$ - помеховая составляющая в составе выходного разностного сигнала ΔT .

Приведенные соотношения для антенной температуры системы показывают, что в первую очередь по входу системы погрешность оценки радиояростной температуры объекта определяется направленными свойствами и относительным коэффициентом передачи по мощности дополнительного антенного канала.

С учетом энергетических соотношений основной и высшей моды в питающем волноводе мощностные диаграммы направленности основного и дополнительного канала зеркальной антенны радиусом раскрыва 76 мм на частоте 9.375 ГГц имеют вид представленный на рис.1.

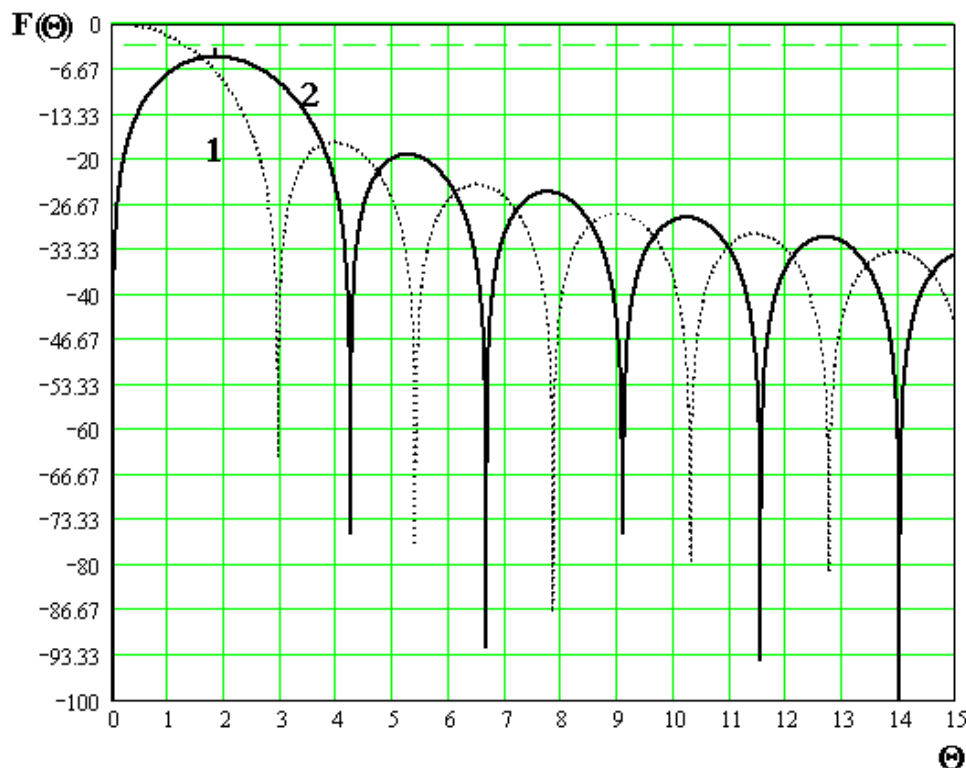


Рис. 1. Диаграммы направленности по мощности основного (1) и дополнительного (2) антенного канала радиометрической системы с компенсацией фоновых помех

Анализ диаграмм направленности двух каналов позволяет сделать вывод о достаточно адекватном среднем уровне приема по области рассеяния обоих каналов. Для численной оценки степени адекватности можно использовать величины β и $\beta_{\text{дон}} \kappa_{\text{дон}}$, определяемые по формулам,

$$\beta = \int_{\theta_{\text{эл}}}^{\pi} F_{\text{осн}}(\theta) d\theta, \quad (6)$$

$$\beta_{\text{дон}}K_{\text{дон}} = \int_{\theta_{\text{эл}}}^{\pi} F_{\text{дон}}(\theta) / E_{\text{осн}}(0) d\theta, \quad (7)$$

где $F_{\text{осн}}(\theta)$ и $F_{\text{дон}}(\theta)$ - диаграммы направленности по мощности основного и дополнительного канала; $E_{\text{осн}}(0)$ - уровень поля излучения основного антенного канала для нормировки уровня поля дополнительного канала относительно основного.

Оценка параметров β и $\beta_{\text{дон}}K_{\text{дон}}$ показала, что при сравнении относительных уровней принимаемой мощности по области рассеяния, ограниченной угловыми направлениями $\theta_{\text{эл0}} = 3^\circ$ и 180° , эти величины равны 0.189 и 0.184 соответственно. Таким образом, погрешность компенсации помеховых компонент во входном сигнале радиометрической системы, обусловленной приемом фонового излучения из изотропной части области рассеяния не превышает единиц процента. Так при зондировании атмосферных образований с поверхности земли при коэффициенте излучательной способности порядка 0.6-0.7 погрешность компенсации вклада шумового излучения подстилающей поверхности во входной сигнал в худшем случае не превысит 1 К. Данный результат очень важен с практической точки зрения, т.к. при перемещении луча антенны по протяженному объекту и соответственно существенному перераспределению угловых направленных свойств антенны по отношению к неоднородному фону, будет происходить практически полная компенсация помеховых компонент входного сигнала вызванная приемом фонового излучения через изотропную часть области рассеяния диаграммы направленности антенны.

Кроме компенсации помеховой составляющей, обусловленной приемом фонового излучения, данная система позволяет исследовать протяженные объекты на их неоднородность, т.е. возможно измерение линейного профиля радиояркостной температуры атмосферных образований с угловым разрешением равным угловому размеру главного лепестка разностной диаграммы направленности. Для анализа погрешности оценки радиояркостной температуры радиометрической системой с каналом формирования сигнала компенсации необходимо рассмотреть разностную диаграмму направленности антенной системы в целом в области главного лепестка. На рисунке 2 представлены диаграмма направленности основного измерительного канала и разностная диаграмма направленности антенной системы в целом в области главного лепестка.

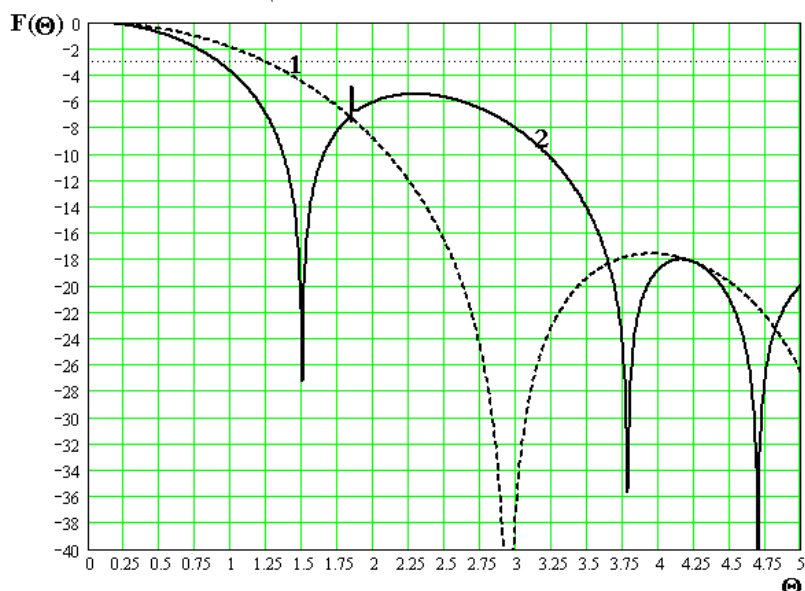


Рис. 2. Диаграмма направленности основного канала (1) и разностная диаграмма направленности двухканальной антенной системы

Оценка относительного уровня мощности шумового сигнала, принимаемого системой по основному измерительному каналу и при выполнении процедуры компенсации фонового излучения с использованием сигнала дополнительного антенного канала показала, что суммарная относительная мощность на выходе антенны обусловленная приемом по главному лепестку диаграммы направленности антенны основного канала составляет величину 0.824, а аналогичная величина для разностной диаграммы направленности системы равна 0.811. Таким образом, погрешность оценки радиояркой температуры области протяженного атмосферного образования, соответствующей угловой области главного лепестка диаграммы направленности антенны радиометрической системы с каналом формирования сигнала компенсации, не превышает единиц процентов.

Проведенный анализ погрешностей оценки радиояркой температуры протяженных атмосферных образований радиометрической системой с каналом формирования сигнала компенсации позволяет сделать вывод о преимуществах применения данной системы в условиях зондирования объектов с большими угловыми размерами при неоднородном фоновом излучении окружающего пространства, т.к. в данном случае при достаточной степени компенсации фонового излучения и незначительном снижении угловой разрешающей способности отсутствует необходимость отклонения ДН антенны на существенный угол для формирования сигнала компенсации путем приема по угловому направлению вне объекта зондирования, что связано с изменением взаимного расположения ДН антенны и окружающего фона и необходимостью решения задачи осуществления оперативной переориентации антенны в процессе проведения измерений.

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. Федосеева Е.В. Анализ энергетических соотношений в двухканальной двухмодовой зеркальной антенне радиометрической системы СВЧ / II Международный форум информационных технологий «IT FORUM 2020/ Ярмарка антикризисных решений» XV Международная научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии ИСТ-2009». Материалы конференции. – Н.Новгород, 2009 – с. 55.