

УДК 615.41 : 621.37.59

К ТЕОРИИ КОНТАКТНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛ

В. С. Троицкий

Рассматривается вопрос измерения внутренней температуры тел по их собственному тепловому радиоизлучению с помощью радиометра с антенной, приводимой в контакт с поверхностью тела. Предлагается и обосновывается метод абсолютных измерений внутренней температуры диэлектрических тел, в том числе различных участков человеческого тела. В связи с этим проводится анализ шумов входа радиометра как источников ошибок измерений шумового сигнала. Показано, что применение принципа термодинамического равновесия входной системы радиометра и калибровки по двум внешним эталонам радиоизлучения позволяет снизить ошибки измерения внутренней температуры тел до одной десятой градуса.

1. Введение. Измерение температуры того или иного объекта по его тепловому излучению хорошо известно. В радиоастрономии, например, определение температуры планет ведется по измерению их теплового радиоизлучения на различных волнах. Чем длиннее волна, тем на большей глубине определяется температура планет (см., например, [1]). Особенностью этих измерений является необходимость знания коэффициента отражения поверхности планеты, а также условий распространения радиоволн в атмосфере Земли и параметров антенн. Все это не позволяет измерять температуру с ошибкой менее 2—3 градусов.

В ряде задач возникает необходимость измерения глубинной температуры тел, находящихся на Земле, однако со значительно большей точностью и высоким разрешением по пространству. Наиболее адекватным способом является прием излучения тела, когда антенна или, лучше сказать, антенный зонд приводится в контакт с телом. Обещающей областью глубинных измерений температур тел по тепловому радиоизлучению является измерение температуры внутренних органов человеческого тела и животных.

Впервые для этого радиометрия была применена, по-видимому, Барретом для диагностики опухолей молочной железы [2]. Однако точность этих измерений оказалась низкой. Это связано с трудно учитываемым влиянием отражений в месте контакта антенного зонда с телом, что приводит к возникновению ложных сигналов значительной силы. Физика ложных сигналов рассматривалась ранее [3] в применении к радиоастрономическим исследованиям, что позволило снизить эти помехи до нужного уровня. Было показано, что главная составляющая ложного сигнала возникает благодаря отражению собственных шумов входа усилителя от неидеально согласованной с пространством антенны. В работе [4] рассмотрено влияние невзаимных элементов на ложные сигналы.

В радиоастрономических исследованиях антенна в процессе измерений практически не подвергается каким-либо воздействиям, меняющим ее параметры. При измерении радиоизлучения источника производится сравнение излучения при направлении антенны на источник и в опорную область, сдвинутую в сторону на ширину диаграммы. Поэтому даже плохо согласованная антенна не дает ложных сигналов.

Совсем иное положение, существенно более тяжелое, мы имеем при измерении глубинной температуры человеческого тела. При этом каждый контакт антенны-зонда с телом дает свое значение коэффициента отражения антенны, что приводит, с одной стороны, к изменению ложного сигнала, а с другой, — к изменению коэффициента передачи сигнала антенной. Это дает значительные ошибки, которые в лучшем случае порядка одного градуса. Между тем, для эффективного использования метода при измерении температуры внутренних органов человека требуется точность не хуже $0,1^{\circ}\text{C}$.

В силу сказанного неслучайно в упомянутой выше работе [2] проводились не абсолютные измерения, а лишь сравнительные измерения излучения между двумя молочными железами. Однако при измерении, когда используется сравнение температур парных органов, практическая ценность метода существенно снижается.

Вряд ли нужно подробно пояснять, что метод определения абсолютных температур внутренних органов человеческого тела может иметь важное диагностическое значение. Практически все болезненные процессы связаны с воспалением и, следовательно, с изменением в той или иной степени температуры органа или участка тела. С учетом трудности точных абсолютных измерений был предложен метод диагностических исследований по воздействию лекарственных средств на температуру того или иного органа или места человеческого тела, куда приложена антенна-зонд. Температурная динамика ответа организма на то или иное воздействие может служить диагностическим признаком. Поскольку при этом антенна-зонд не меняет своего положения на теле, то ложные сигналы отсутствуют полностью и может быть реализована точность измерения, равная предельной чувствительности радиометра к температуре, т. е. в несколько сотых градуса. В качестве возможностей этого метода и проверки того, что мы действительно измеряем температуру в глубине, был проведен опыт по измерению температуры в области желудка, когда выпивалась холодная или горячая вода [5].

Задачей настоящей работы является обоснование возможностей ослабления или полного исключения источников ошибок измерений глубинной температуры тел по их радиоизлучению и достижения точностей, сравнимых с точностями прямых измерений с помощью классических измерителей, использующих либо расширение тел при нагреве, либо термоэлектронные, терморезистивные и другие явления.

2. Методика измерений. Для измерения температуры какого-либо тела применяется радиометр, антенна-зонд которого приводится в контакт с поверхностью тела так, что в антенну поступает только излучение тела. Сигнал в антенне определяется излучением части тела, прилегающей к зонду. При этом температура шумового сигнала в антенне равна температуре тела*. Для измерения сигнала необходимо его выключение. В принципе, это возможно сделать, соединяя антенну с телом, имеющим температуру, равную абсолютному нулю. Однако это практически нереально, поэтому пользуются опорным телом (излучением), температура которого отлична от нуля и точно известна. При этом для измерения сигнала достаточно определить точно разность сигналов между опорным и определяемым сигналом. Последнее делается с помощью калибровки, получаемой соединением антенны с третьим телом (калибровочным телом), имеющим известную, но отличающуюся от опорного тела температуру. Калибровочным излучением в данном случае является разность температур опорного и калибровочного тел.

Представим указанную процедуру измерений количественно. Для этого рассмотрим эквивалентную схему входа радиометра, приведен-

* В действительности это имеет место при определенных условиях измерений, см. [6].

ную на рис. 1. Здесь $R_{вх}$, $T_{вх}$ — входное сопротивление и его эффективная температура, определяемая шумами входа; R_a , T_a — сопротивление потерь и температура материала антенны-зонда; R и T — сопротивление излучения антенны и эффективная температура сопротивления, равная истинной или средней температуре, соприкасающейся с антенной частью тела; R_z , T_z — сопротивление и температура согласованной нагрузки циркулятора. Мы полагаем, что фидерные линии с волновым сопротивлением ρ не имеют потерь и отражающих неоднородностей. Ключ, показанный на рисунке, является модулятором, который переключает вход приемника с антенны (открыт) на согласованную нагрузку циркулятора (замкнут). В данном рассмотрении он полагается бесшумным. Предположим далее, что $R_{вх}$ согласовано с линией, т. е. $R_{вх} = \rho$.

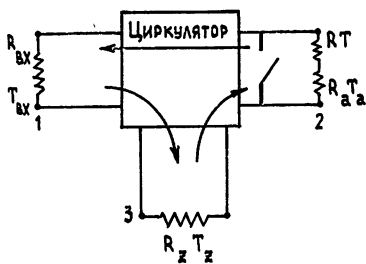


Рис. 1.

Найдем спектральную плотность среднего квадрата напряжения на входе приемника от шума в антенне, представляющего измеряемый сигнал. Сигнал на входе усилителя будет

$$\overline{V^2}(f) = 4\kappa \frac{TR + T_a R_a}{(\rho + R + R_a)^2} \rho^2 = \kappa \rho [T\eta(1 - p^2) + T_a(1 - \eta)(1 - p^2)], \quad (1)$$

где κ — постоянная Больцмана, $\eta = R/(R_a + R)$ — КПД антенны, $1 - \eta = R_a/(R_a + R)$ — потери в антенне и $p^2 = (k - 1)^2 / (k + 1)^2$ — коэффициент отражения по мощности от антенны, соединенной с линией, имеющей волновое сопротивление ρ , причем $k = (R + R_a)\rho^{-1}$ — коэффициент стоячей волны антенны-зонда. Выражение в фигурных скобках имеет смысл эффективной температуры сигнала, а величина $1 - p^2$ — излучательной способности антенны.

Как видно из выражения (1), величина измеряемого сигнала, т. е. T , передается на вхд измерителя измененной на неопределенную величину соответственно значениям η и p^2 . Практически невозможно обеспечить неизменность этих величин в процедуре трех замеров — опорного, калибровочного и измерительного. Особенно большая неопределенность заключена в последнем замере, так как величина p^2 сильно зависит от места приложения антенны к телу и плотности этого контакта. Однако это еще не все источники ошибок. Поскольку при каждом замере меняются параметры антенны, это приводит к изменению действия на вход других источников шума, например шума входного сопротивления и шума циркулятора. Поэтому для того, чтобы количественно разобраться в факторах, определяющих ошибки измерений, вносимых изменчивостью p^2 (или, что то же, R), необходимо получить общее выражение для шумов на входе приемника, которые определяют показания радиометра.

3. Шумы входа радиометра. Средний квадрат напряжения шумового сигнала, идущего от антенны, как мы нашли, дается выражением (1). Для получения полного напряжения шумов на входе необходимо к шумам (1) добавить ряд шумов, идущих к антенне и отражающихся от нее на вход. Шумы нагрузки циркулятора, идущие к антенне, равны $\kappa T_z(1 - p_z^2)$, где $1 - p_z^2$ — излучательная способность нагрузки циркулятора, как обычно, весьма близкая к единице. Эти шумы отражаются антенной и дают вклад в шумы на входе, равный $\kappa T_z(1 - p_z^2) p^2$.

Наконец, шумы входа усилителя, отражаясь от нагрузки циркулятора и затем от антенны, снова попадают на вход. Так как эти отра-

женные шумы являются когерентными с шумами на входе, то возникает их интерференция. В результате на входе будет иметь место следующая величина собственных шумов:

$$\overline{V}_{11}^2 = \kappa p [T_{\text{вх}} + T_{\text{вх}} p_z^2 p^2 + 2T_{\text{вх}} p_z p \cos 2ml].$$

Здесь $m = 2\pi f/v$, v — фазовая скорость волны в кабеле, равная $c/\sqrt{\epsilon}$, l — длина линии от входа до антенны. Первый член дает шумы входа, второй — мощность переотраженного шума, а третий — интерференционную составляющую.

Это выражение нетрудно получить, квадратируя сумму напряжений входа и отраженного сигнала, пропорциональных $\sqrt{T_{\text{вх}}}$ и $p_z p \sqrt{T_{\text{вх}}}$ соответственно, с учетом разности фаз, равной $2ml$. Строго это выражение получено в [3] для линии, не содержащей невзаимный элемент. В нашем случае роль невзаимного элемента просто сводится к тому, что отраженный сигнал ослаблен еще в $1/p_z^2$ раз. Итак, спектральная плотность среднего квадрата напряжения шума (полного сигнала) на входе будет:

$$\overline{V}_c^2(f) = \kappa p [T \eta (1 - p^2) + T_a (1 - \eta) (1 - p^2) + T_z (1 - p_z^2) p^2 + 2T_{\text{вх}} + T_{\text{вх}} p_z^2 p^2 + 2T_{\text{вх}} p_z p \cos 2ml]. \quad (2)$$

В процессе измерений мы пользуемся тремя разными подключениями антенны к телам. Это неизбежно меняет p^2 , и, следовательно, показания радиометра будут меняться не только в зависимости от величины измеряемого сигнала, т. е. температуры среды T , но и в зависимости от изменений функции передачи величины T и величины интерференционного ложного сигнала. Последнее происходит за счет вариаций как амплитуды, так и фазы коэффициента отражения, что эквивалентно изменению длины линии l . Таким образом, прежде всего необходимо избавиться от интерференционного ложного сигнала. Для этого p_z должно быть очень малым. Этого можно достичь включением второго циркулятора последовательно с первым, тогда ослабление интерференционного сигнала будет пропорционально p_z^2 , что достаточно при шумах входа не более 300 К.

Имеется другой способ подавления интерференционных шумов, предложенный в [3]. Способ состоит в том, что l выбирается таким, чтобы запаздывание интерферирующих сигналов $2l/v$ было бы больше времени когерентности шумов, равного $1/\Delta f$, где Δf — полоса принимаемых частот. При этом интерференции нет и складываются мощности. Удобнее этот процесс представить иначе. В (2) спектральная плотность шума периодически меняется с изменением частоты соответственно члену $\cos 2ml$. Приемник принимает сигнал в полосе Δf , и если в этой полосе укладывается достаточное количество максимумов функции $\cos 2ml$, то интерференция усредняется. Рассчитаем величину полного сигнала во всей полосе радиометра для линии без дисперсии. Предположим, что полоса радиометра имеет гауссову форму

$$\varphi(f) = \exp - (4(f - f_0)^2 / \Delta f^2),$$

где f_0 — средняя частота полосы. Эффективная полоса пропускания будет $\Delta f_{\text{эфф}} = \Delta f \sqrt{\pi}/2$. Умножая $\varphi(f)$ на (2) и интегрируя по всем частотам, полагая, что коэффициенты отражения в интервале полосы остаются постоянными, получим

$$\overline{V}_c^2 = \kappa p \Delta f_{\text{эфф}} [T \eta (1 - p^2) + T_a (1 - \eta) (1 - p^2) + T_z (1 - p_z^2) p^2 +$$

$$+ T_{\text{вх}} + T_{\text{вх}} p_z^2 p^2 + 2T_{\text{вх}} p_z pM \cos 2m_0 l], \quad (3)$$

где $m_0 = 2\pi f_0/v$ и M — ослабление интерференции, равное

$$M = \exp [- (\pi l \Delta f/v)^2].$$

Ослабление в e^{-4} раз имеет место при $\Delta f = 4v/2\pi l$.

Выражение (3) дает значение шумов на одном из концов четырех-полюсника, содержащего невзаимный элемент. Ввиду неидеальности невзаимного элемента ($p_z \neq 0$) мы имеем частично невзаимную систему. При $p_z = 0$ получим полностью невзаимную систему. При этом шумы не зависят от фазовых соотношений в цепи входа. Интерференционный член в (3) практически может быть сведен к нулю и при $p_z \neq 0$ путем соответствующего выбора величины M . При этом фазовые соотношения в системе также не будут влиять на интенсивность шума, т. е. система в этом смысле ведет себя как идеально невзаимная. Это приводит к важному следствию. При термодинамическом равновесии шумы четырехполюсника не будут зависеть от величин подключенных сопротивлений и длины соединительных линий, а только от температуры шумов сопротивлений. Рассмотрим это подробнее.

Полагаем, что интерференционный член подавлен до нужного уровня. Перейдем для конкретности к показаниям выходного прибора радиометра n , которые пропорциональны $\overline{V_c^2}$. Согласно (3), можно записать

$$n = \alpha [T_{\text{вх}} + T_a + (T - T_a)\eta(1 - p^2) + (T_z - T_a)p^2 + (T_{\text{вх}} - T_z)p_z^2 p^2]. \quad (4)$$

Перейдем от абсолютных температур к шкале Цельсия. Положим $T = T_0 + t$, $T_a = T_0 + t_a$, $T_z = T_0 + t_z$, где t , t_a , t_z — соответственно температура среды, антенны и нагрузки циркулятора. Обозначим $(T_{\text{вх}} - T_z)p_z^2 = B$, тогда

$$n = \alpha [(t - t_a)(1 - p^2)\eta + (t_z - t_a)p^2 + t_a + T_{\text{вх}} + T_0 + Bp^2]. \quad (5)$$

4. Шумы входа радиометра при термодинамическом равновесии и измерение внутренней температуры тел. Рассмотрим случай равновесных шумов, когда входной четырехполюсник находится в тепловом равновесии. При этом температуры антенны, среды, с которой соединена антенна, циркулятора и сопротивления входа усилителя одинаковы, т. е. $t_a = t_z = T_{\text{вх}} - T_0 = t$. Согласно (5), получим для равновесных шумов

$$n = 2\alpha(T_0 + t) = 2\alpha T. \quad (6)$$

Таким образом, выходной сигнал не зависит от параметров антенны (η , p^2), а только от измеряемой абсолютной температуры среды. Однако, чтобы реализовать такой способ измерений, необходимо не только термостатировать антенну, циркулятор, но и регулировать температуру шумов входа усилителя, делая ее равной абсолютной температуре указанных выше элементов. На данном уровне техники приема это делать крайне затруднительно. По-видимому, острой необходимости в этом нет. Действительно, рассмотрим случай теплового равновесия части входной системы, а именно только циркулятора, антенны и измеряемой среды, т. е. когда $t_a = t_z = t$. Согласно (5),

$$n = \alpha [t + T_{\text{вх}} + T_0 + Bp^2]. \quad (7)$$

В этом варианте имеет место некоторое влияние несогласования, но, как нетрудно убедиться, оно пренебрежимо мало. В самом деле, обычно

$p_z^2 = 1/300$, а $T_{вх} \leq 600$ К, тогда $B \leq 1^\circ$. Изменение p^2 даже на $\Delta p^2 \approx 0,1$ дадут неопределенность шумов всего $0,1^\circ$, что вполне допустимо.

Процедура измерений, как мы говорили, состоит из трех замеров — опорного, калибровочного и измерительного. Обеспечить тепловое равновесие можно только в двух первых замерах. В третьем это принципиально сделать невозможно, так как температура исследуемой среды неизвестна и подлежит измерению.

Рассмотрим наиболее реальный случай измерений, когда равновесие осуществляется только в одном замере, например, опорном. При этом температура циркулятора и антенны поддерживается неизменной во всех трех замерах.

При опорном замере температура среды t_1 равна $t_a = t_z$ и далее остается неизменной. Мы полагаем также, что температура собственных шумов входа усилителя $T_{вх}$ не меняется от замера к замеру. При этом, согласно (5), для всех трех замеров можно записать

$$n_1 = \alpha [t_1 + T_{вх} + T_0 + Bp_1^2], \quad t_a = t_z = t_1,$$

$$n_2 = \alpha [(t_2 - t_1)(1 - p_2^2)\eta + t_1 + T_{вх} + T_0 + Bp_2^2], \quad t_a = t_z = t_1, \quad (8)$$

$$n_3 = \alpha [(t_3 - t_1)(1 - p_3^2)\eta + t_1 + T_{вх} + T_0 + Bp_3^2], \quad t_a = t_z = t_1.$$

Здесь t_1 и t_2 — известные точно температуры опорной и калибровочных сред, а t_3 — измеряемая температура исследуемой среды. Находя сигналы $n_c = n_3 - n_1$, $n_k = n_2 - n_1$ и их отношение, пренебрегая малыми величинами $B(p_2^2 - p_1^2)$ и $B(p_3^2 - p_1^2)$ и считая, что КПД антенны не меняется от замера к замеру*, получим

$$t_3 = t_1 + (n_c/n_k)(t_2 - t_1)[(1 - p_2^2)/(1 - p_3^2)]. \quad (9)$$

В этом выражении влияние несогласования антенны проявляется через второй и третий замеры вследствие отсутствия для них условий термодинамического равновесия. Можно, вообще говоря, обеспечить равновесие и во втором замере, однако, как нетрудно убедиться, это приводит к появлению в формуле для t_3 плохо известного параметра η . Из выражения (9) видно, что важно приблизиться к равновесному случаю для третьего замера. Для медицинских применений, когда t_3 меняется в малых пределах, составляющих около $\pm 3^\circ$ от средней величины $\bar{t}_3 \approx 36^\circ$, можно с точностью $\pm 3^\circ$ приблизиться к термодинамическому равновесию. Выбирая равновесную температуру t_1 , близкую к среднему значению \bar{t}_3 , мы получаем, что второй член в (9) может составить те же $\pm 3^\circ$.

При этом, очевидно, поправочный член $(1 - p_2^2)/(1 - p_3^2)$ может не приниматься во внимание, если p_3^2 меняется в разумных пределах, например $0 \leq p_3^2 \leq 0,1$, что дает максимальную ошибку $\pm 0,3^\circ$. Однако и эта ошибка может быть практически сведена к нулю путем определения p_3^2 с помощью специальной процедуры и учета поправочного члена в формуле (9).

5. Выбор параметров калибровки. Рассмотрим условия, определяющие выбор температуры t_2 . Прежде всего заметим, что t_2 может быть как больше, так и меньше t_1 , т. е. $t_2 = t_1 \pm t_k$. Выбор величины калибровочной «ступеньки» не меняет ошибку в формуле (9), так как отношение t_k/n_k не зависит от t_k , а лишь от параметров усилителя.

* Это имеет место с достаточной точностью, если p_2^2 и p_3^2 не превосходят $0,2-0,3$ и антенна имеет высокий КПД ($\geq 0,9$).

Выбор t_k определяется шумовыми характеристиками радиометра. Необходимо, чтобы флуктуационная ошибка определения n_k составляла не более 10^{-2} ее величины. Таким образом, имеем условие

$$2 \Delta T = 2 T_{\text{вх}} \sqrt{\Delta f \tau} \leq 10^{-2} t_k,$$

где ΔT — пороговая чувствительность радиометра, Δf — его полоса, τ — время усреднения. Двойка появляется благодаря суммированию ошибок опорного выхода n_1 и калибровочного n_2 . При $t_k = 5$ К пороговая чувствительность радиометра должна быть $\Delta T \leq 0,025$ К, что при $\tau = 1$ с возможно, если шумы входа усилителя $T_{\text{вх}}$ не более 300 К.

Существует еще другое условие для выбора t_k . Эта величина должна быть такой, чтобы можно было пренебречь влиянием члена $B(p_2^2 - p_1^2)$ в выражении для $n_k = n_2 - n_1$ по сравнению с членом $t_2 - t_1 = t_k$ (8).

Потребуем, чтобы

$$|T_{\text{вх}} - T_z| p_2^2 (p_2^2 - p_1^2) \leq 10^{-2} t_k.$$

Точность соблюдения равенства $p_2^2 = p_1^2$, вероятно, не лучше $0,3 p_{12}^2$ при $0 \leq p^2 \leq 0,25$ (КСВ = 1—3). Примем, что в среднем $p_{12}^2 = 0,1$ (КСВ = 2), тогда

$$t_k \geq 3 |T_{\text{вх}} - T_z| p_z^2.$$

Циркулятор обычно дает ослабление в обратном направлении около 25 дБ, т. е. $p_z^2 = 0,003$, тогда

$$t_k \geq 10^{-2} |T_{\text{вх}} - T_z|.$$

Для радиометра с шумом $T_{\text{вх}} = 600$ К это дает

$$t_k \geq 3^\circ.$$

Сделаем некоторые выводы.

1) Полное исключение влияния отражений в антенном тракте на результат измерений температуры тела достигается путем установления термодинамического равновесия системы входа.

2) Возможно значительное ослабление влияния отражений при соблюдении теплового равновесия при опорном измерении и приближенного к тепловому равновесию в измерительном замере.

3) Температура, на которой осуществляется тепловое равновесие, в опорном замере должна выбираться как можно ближе (в среднем) к измеряемой температуре, что приближает измерительный замер к условиям термодинамического равновесия входа.

4) Необходимо снижение шумов входа до 100—200 К для уменьшения их влияния на величину ложных сигналов, снижения интерференционных ошибок и повышения пороговой чувствительности.

5) Необходимо применение циркулятора с ослаблением не менее 25—30 дБ.

6) Необходимо максимально точное соблюдение равенства $p_1^2 = p_2^2 = p_3^2$ путем создания эталонных излучателей, близких по диэлектрическим свойствам к свойствам измеряемых тел. Разница коэффициентов отражения должна быть не хуже $0,3 p^2$ при КСВ антенны от единицы до трех.

7) Для повышения точности определения поправки на отражение необходимо измерение коэффициента отражения антенны проводить во время замеров с помощью самой измерительной системы путем введения эталонированного шума в нагрузочное плечо циркулятора.

8) Требуется дальнейшее развитие теории шумов невзаимной входной системы радиометра при наличии потерь в циркуляторе и линии, а также при наличии неоднородностей в линии и несогласованности входа радиометра с ней.

В заключение хочу отметить большую работу А. В. Густова, В. М. Плечкова, В. П. Горбачева, И. Ф. Белова и Л. К. Сизьминой, проводивших тщательные эксперименты, которые немало способствовали этому теоретическому исследованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Троицкий В. С., Кротиков В. Д. — УФН, 1963, вып. 4.
2. Barret A., Myers—Science, 1975, 190, № 4215, p. 669.
3. Троицкий В. С. — ЖТФ, 1955, 25, вып. 8, с. 1426
4. Стародубцев А. М. — Труды ГИФТИ и радиофизического ф-та ГГУ Сер. Физическая, 1957, 35, с. 38.
5. Троицкий В. С., Горбачев В. П., Плечков В. М. и др. Препринт НИРФИ. № 131. — Горький, 1979.
6. Троицкий В. С., Густов А. В., Белов И. Ф. и др. — УФН, 1981, 134, вып. 1, с. 155.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
15 декабря 1980 г.

TO THE THEORY OF CONTACT RADIOMETRIC MEASUREMENTS OF INTERNAL TEMPERATURE OF BODIES

V. S. Troitskij

A problem is considered of measurement of the internal temperature of bodies over their natural thermal radiation by a radiometer with antenna being in the contact with the body surface. A method is suggested and founded for measurements of the internal temperature of dielectric bodies including different parts of the human body. In this connection an analysis is made of the radiometer input noises as the source of measurement errors of the noise signal. It is shown that the use of the thermodynamic equilibrium principle of the radiometer input system and calibration over two external radiation references permits to decrease errors of measurement of the internal body temperature up to a tenth of the degree.
