

## РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Е.А. Водопьянов, Н.И. Иванов  
(Академия гражданской защиты Украины)

*Описаны разработанные технические средства контроля параметров окружающей среды в дециметровом диапазоне длин волн. Приведены блок-схемы технических средств контроля, а также параметры окружающей среды, полученные при их использовании.*

*технические средства контроля, параметры окружающей среды, дециметровый диапазон длин волн*

**Постановка проблемы.** В настоящее время существует большое количество технических средств контроля параметров окружающей среды. Но многие из них имеют ряд существенных недостатков (в конструктивном решении, погрешности, размещении и т.д), которые не дают возможности с достаточной достоверностью судить о параметрах окружающей среды.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Украина последние десятилетия является одним из крупнейших экспортеров зерна. Поэтому безопасное его хранение и транспортировка возможно только при внедрении и постоянном использовании различных технических средств контроля параметров окружающей среды. Различные методы и технические средства контроля параметров окружающей среды описаны в работах [1 – 7].

**Постановка задачи и ее решение.** Для решения ряда актуальных проблем в области экологического мониторинга возникает необходимость определения дистанционными методами температуры скрытых объектов и слабых тепловых полей в различных оптически непрозрачных средах.

Нами разработан, изготовлен и исследован малогабаритный высокочувствительный многоканальный радиометр Дайка, позволяющий оперативно и эффективно с высокой точностью определять яркостную температуру различных излучающих сред в дециметровом диапазоне длин волн с частотным анализом радиационного излучения в интервале 0,1 – 1 ГГц.

Радиометр представляет собой классический модуляционный приемник, функциональная схема которого приведена на рис. 1.

Флукуационная температурная чувствительность радиометра определялась в широкополосном и узкополосном режимах работы. В качестве источника радиационного излучения использовалось АЧТ. Результаты

измерений флуктуационной температурной чувствительности  $\Delta T_n$  при инерционности  $\tau = 1$  с представлены в табл. 1.

Эксперименты с радиометром проводились в течение полугода и показали его основные преимущества: простота устройства и надежность, малое время, необходимое для проведения измерений, объективность и достаточная точность результатов, а также устойчивая работоспособность при различных погодных условиях.

Перечисленные выше характеристики, простота обслуживания и выбор надежной элементной базы обеспечивает успешное применение прибора при техническом обеспечении решения актуальных задач в области приборов и средств контроля защиты окружающей среды [1].

Дистанционный оперативный контроль техногенных, потенциально опасных объектов предполагает наличие высокочувствительной измерительной аппаратуры, работающей в широком диапазоне электромагнитных излучений. Спектральные особенности излучения атмосферы, гидросферы и литосферы, а также пожароопасных объектов в диапазоне длин волн 0,1 мм – 30 см дают информацию о термодинамической, яркостной температуре различных объектов, о содержании органических и минеральных веществ, наличии нефтепродуктов, составе продуктов горения веществ и т.д.

Для эффективного и оперативного измерения параметров, уровня, формы и спектра тепловых сигналов необходимы перестраиваемые по частоте приемные устройства, обладающие высокой чувствительностью, разрешающей способностью и малой инерционностью, порядка  $10^{-10}$  с. Этому требованию удовлетворяют приемные устройства, выполненные на слабосвязанных сверхпроводниковых контактах Джозефсона, работающем в широком диапазоне длин волн [2].

В экспериментах нами исследовались малошумящие детекторы слабых тепловых сигналов на основе слабосвязанных сверхпроводников, работающих при температуре жидкого азота. Нелинейные элементы изготавливались на базе висмутовых и таллиевых керамик [3]. Висмутовая керамика Bi-Sr-Ca-Cu-O была синтезирована из оксидов Bi и Cu и карбонатов Si и Ca.

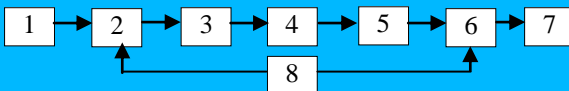


Рис. 1. Функциональная схема радиометра: 1 – антенна; 2 – модулятор; 3 – усилитель высокой частоты (УВЧ); 4 – квадратичный детектор; 5 – видеоусилитель; 6 – синхронный детектор; 7 – индикатор; 8 – генератор опорного напряжения

Таблица 1

Флуктуационная температурная чувствительность радиометра при  $\tau = 1$  с

Полоса частот УВЧ $-\Delta f$ , МГц	100-1000	100-300	300-500	500-700	700-1000
$\Delta T_n$ , К	0,1	0,25	0,25	0,25	0,15

Таллиевая керамика имела смешанный состав Bi-Tl-Ca-Cu-O. Обе керамики обладали сверхпроводимостью при температуре  $T \leq 100$  К.

Функциональная схема исследованного анализатора спектра слабых широкополосных сигналов представлена на рис. 2.

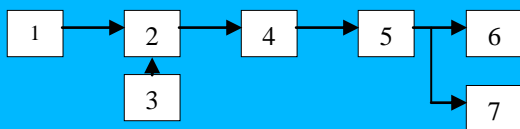


Рис. 2. Функциональная схема анализатора спектра на основе эффекта Джозефсона

Схема включает в себя: 1 – антенну; 2 – джозефсоновский элемент – совмещенный гетеродин-смеситель; 3 – полупроводниковый генератор пилообразного напряжения,

обеспечивающий перестройку джозефсоновского генератора в широком диапазоне длин волн; 4 – транзисторный усилитель промежуточной частоты с полосой пропускания  $\sim 2$  ГГц и шумовой температурой  $\sim 150$  К; 5 – видеодетектор на обращенном диоде и усилитель низкой частоты типа «Унипан-273»; 6 – осциллограф типа С1-82; 7 – регистрирующее устройство типа В7-35 или самописец.

С помощью данного анализатора спектра были проведены экспериментальные исследования яркостной температуры, коэффициентов излучения (степень черноты) нефти, нефтепродуктов, зерновых культур и других оптически непрозрачных сред в широком диапазоне длин волн.

Отличительной особенностью описанного высоко чувствительного анализатора спектра является возможность принимать слабые тепловые сигналы различных объектов в режиме гетеродинного детектирования с перестройкой джозефсоновского гетеродина по частоте  $\sim 300 - 400\%$ .

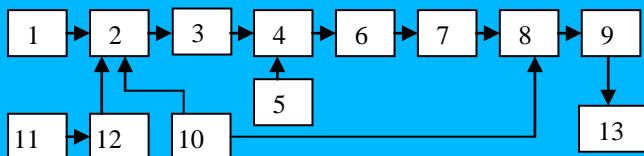
Описанный анализатор спектра на основе слабосвязанных высокотемпературных сверхпроводников, проявляющих эффект Джозефсона, позволяет осуществлять экспресс-анализ параметров слабых тепловых сигналов различных физических объектов в реальном масштабе времени [4].

Для проведения экспериментов по определению яркостной температуры –  $T_j$  и коэффициента излучения зерна –  $\alpha$  в дециметровом диапазоне длин волн был разработан высокочувствительный модуляционный супергетеродинный радиометр Дайка, работающий в диапазоне длин волн 60 – 30 см. Блок – схема радиометра представлена на рис. 3.

Блок – схема радиометра состоит из следующих блоков: 1 – антенна; 2 – коммутатор – модулятор; 3 – усилитель высокой частоты; 4 – преобразователь частоты; 5 – гетеродин; 6 – усилитель промежуточной частоты; 7 – квадратичный детектор; 8 – синхронный детектор; 9 – усилитель постоянного тока; 10 – генератор низкочастотного модуляционного сигнала; 11 – генератор шума; 12 – аттенуатор; 13 – регистрирующее устройство выходного сигнала радиометра.

Полученные экспериментальные данные положены в основу разра-

ботки методики определения параметров  $T_y$  и  $T_0$  при дистанционном зондировании очагов самонагрева в насыпях зерна в дециметровом



диапазоне длин волн [5] (табл. 2).

Рис. 3. Блок-схема модуляционного супергетеродинного радиометра дециметрового диапазона длин волн

Наиболее полную и достоверную информацию о диэлектрической проницаемости зерна можно получить из экспериментальных исследований физических свойств зерновых насыпей.

Определение диэлектрической проницаемости зерна –  $\epsilon$ , должно проводиться в том диапазоне длин волн, который используется для зондирования зерновых насыпей [1].

Блок-схема измерительной установки представлена на рис. 4.

Схема установки включает в себя: 1 – многоканальный радиометр дециметрового диапазона длин волн, подробно описанный в [2]; 2 – направленный ответвитель; 3 – эталонный шумовой генератор на лавинно – пролетном диоде; 4 – кювета с исследуемым зерном; 5 – согласованная нагрузка; 6 – короткозамыкатель.

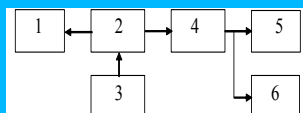


Рис. 4. Блок-схема установки для измерения величины  $\epsilon$  зерна в дециметровом диапазоне длин волн

Таблица 2

Яркостная температура и коэффициент излучения пшеницы в дециметровом диапазоне длин волн

$f$ , МГц	$T_y$ , К		$\alpha$	
	$h = 5,2$ м	$h = 9,5$ м	$h = 5,2$ м	$h = 9,5$ м
1000	165	210	0,56	0,71
750	122	145	0,41	0,49
500	87	108	0,3	0,36

предназначенных для дистанционного зондирования очагов самонагрева в оптически непрозрачных средах [6].

Для реализации потенциальных возможностей радиометрического способа обнаружения очагов самонагрева и возгорания в оптически непрозрачных средах (торф, зерно и др.) необходима информация о радио-

метр. Результаты измерений диэлектрической проницаемости пшеницы приведены на рис. 5.

Полученные результаты позволяют выбирать и оптимизировать параметры радиометрических устройств,

физических параметрах этих сред в диапазоне частот электромагнитного зондирования. При анализе и интерпретации результатов дистанционного зондирования скрытых очагов самонагрева важно знать величину общего ослабления электромагнитного сигнала, вызванного его

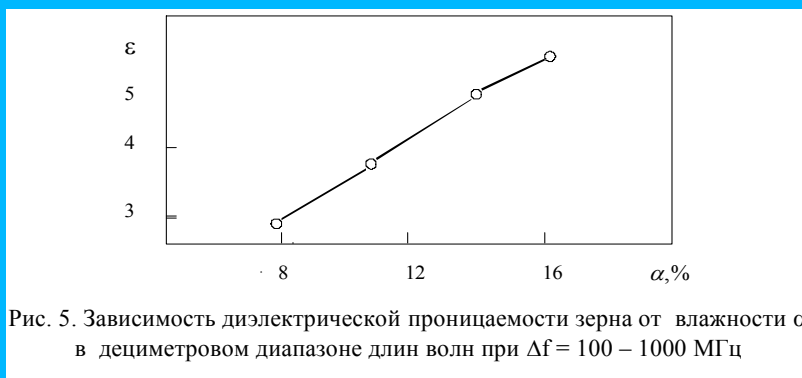


Рис. 5. Зависимость диэлектрической проницаемости зерна от влажности  $\alpha$  в дециметровом диапазоне длин волн при  $\Delta f = 100 - 1000$  МГц

взаимодействием со средой.

Измерительная установка для измерения величины  $\epsilon$  низкопроводящих сред (зерна) описана подробно в [5], а блок – схема измерительной установки для определения величины тангенса угла потерь  $\text{tg } \delta$  представлена на рис. 6.



Рис.6. Блок-схема установки для измерения величины  $\text{tg } \delta_{\text{сред}}$  поглощающих электромагнитное излучение в дециметровом диапазоне длин волн

Схема установки включает в себя: 1 – генератор сигнала высокой частоты – Г4-144: диапазон частот 400 – 800 МГц, выходная мощность 0,5 Вт; 2 – согласующее устройство; 3 – измерительная линия с исследуемой средой, поглощающей электромагнитное излучение; 4 – измеритель КСВН панорамный: диапазон частот 20 – 1250 МГц, погрешность измерения КСВН ~5%; 5 – детектор электромагнитного излучения с барьером Шоттки типа КД514; 6 – усилитель низкой частоты модуляции сигнала 1 типа У2-8: коэффициент усиления в широкополосном режиме 20 – 100 дБ, в селективном режиме 0 – 120 дБ, основная приведенная погрешность ~ 6%.

Результаты измерений радиофизических параметров  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  различных оптически непрозрачных сред в дециметровом диапазоне длин

волн приведены в табл. 3.

Таблица 3

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла потерь  $\operatorname{tg} \delta$  оптически непрозрачных сред на частотах зондирования  $f=400$  и  $800$  МГц

Исследуемая среда	$\epsilon$		$10^{-3} \cdot \operatorname{tg} \delta$	
	$f = 400$ МГц	$f = 800$ МГц	$f = 400$ МГц	$f = 800$ МГц
Древесина – береза	2,8	3,1	12	18
Древесина – сосна	2,9	3,1	14	20
Кирпич, красный	3,2	3,2	11	13,5
Кирпич, силикатный	3,6	3,7	9	12
Торф	3,5	3,7	5,8	9
Бетон	3,5	3,6	7	11

**Выводы.** Полученные экспериментальные данные и описанные технические средства окажутся полезными при разработке радиометрических комплексов, предназначенных для дистанционного обнаружения и контроля параметров окружающей среды в дециметровом диапазоне длин волн.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Н.И., Водопьянов Е.А., Иванова Е.П. Разработка высокочувствительного многоканального радиометра для дистанционного обнаружения очагов самонагрева и возгорания в различных оптически непрозрачных средах // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио. – 2000. – Вып. 10 – С. 78 – 82.
2. Иванов Н.И., Юрченко И.И. Радиометрическое зондирование нефтяной пленки на морской поверхности // Водные ресурсы. – 1989. – № 3. – С. 189 – 191.
3. Трефилов В.И., Щеткин И.С. Исследование сверхпроводимости ВТСП керамика // Техника средств связи. – М. – 1989. – Вып 1. – С. 16 – 26.
4. Иванов Н.И., Водопьянов Е.А. Панорамный анализатор спектра слабых широкополосных и узкополосных сигналов на основе высокотемпературных слабовязанных сверхпроводников // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио. – 2000. – Вып. 10 – С. 58 – 62.
5. Водопьянов Е.А., Иванов Н.И., Иванова Е.П. Измерение коэффициента излучения зерновых насыпей в дециметровом диапазоне длин волн // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио. – 2001. – Вып. 11. – С. 55 – 58.
6. Водопьянов Е.А., Иванов Н.И., Иванова Е.П. Распространение теплового электромагнитного излучения в насыпях зерна в дециметровом диапазоне длин волн // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио. – 2001. – Вып. 11. – С. 52 – 55.
7. Иванов Н.И., Водопьянов Е.А., Курская Т.Н., Сорокин М.Я. Определение радиофизических параметров оптически непрозрачных сред в дециметровом диапазоне длин волн // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио. – 2002. – Вып. 12. – С. 58 – 62..

Поступила 2.08.2005

**Рецензент:** доктор физико-математических наук, профессор А.П. Созник,  
Академия гражданской защиты Украины.

---