

В.А. Тетушкин

АПЕРТУРНЫЙ ТЕРМОВЛАГОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПРЕДЛАГАЕТСЯ ОДНОАПЕРТУРНЫЙ ТЕРМОВЛАГОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД МИКРОВОЛНОВОГО КОНТРОЛЯ ТВЕРДЫХ БОЛЬШЕРАЗМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ТАКИХ КАК БЕТОН РАЗНЫХ МАРОК (В СООТВЕТСТВИИ С ТУ ДИАПАЗОН $W \in [0,05...0,3 \%$] (ОБЪЕМНОЙ ВЛАЖНОСТИ), КЕРАМИКА, ГИПСОБЛОКИ, СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ И Т.Д.

ГЛАВНОЙ ЦЕЛЮ РАЗРАБОТКИ ОДНОСТОРОННЕЙ АПЕРТУРЫ (РИС. 1) ЯВЛЯЛОСЬ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАКСИМУМА ПЕРЕНОСА СВЧ ЭНЕРГИИ ПАДАЮЩЕЙ ВОЛНЫ ИМЕННО В МАТЕРИАЛ И МИНИМУМА ОТРАЖЕНИЙ И РАССЕИВАНИЯ ЭНЕРГИИ В ОКРУЖАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО, А ТАКЖЕ ПОВЫШЕНИЕ ЛОКАЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ W .

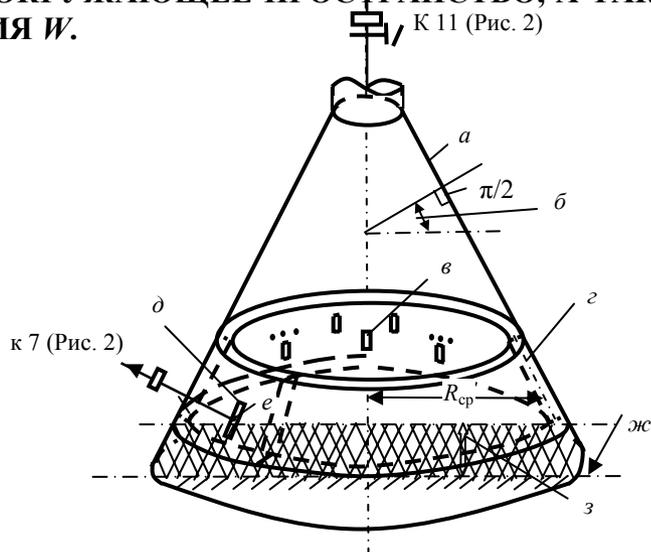


РИС. 1 КОМПЛЕКСНАЯ АПЕРТУРНАЯ СИСТЕМА, ОБОЗНАЧЕННАЯ КАК 9 И 10 НА РИС. 2

На рис. 1 введены следующие обозначения: a – ЭМЭ (электромагнитный экран и приемный рупор мощности, отраженной ЭМВ- $P_{отр}$); b – Θ_A – угол между плоскостью материала и максимумом диаграммы направленности (ДН) апертуры (щелевой антенны): щель длины $\Lambda/2$ – полуволновая поперечная щель, где Λ – длина волны в ВВ; v – одна из щелевых антенн (внутренняя щель); z – кольцевой прямоугольный волновод (ВВ) с излучающими щелевыми антеннами; d – внешняя щель возбуждения кругового ВВ; e – возбуждающий вибратор; $жс$ – плоскость материала; z – пространство, заполняемое теплоизолирующим радиопрозрачным материалом с ϵ' близким к 1 (пенопласт) с наклеенным комплектом точечных термопар (термопаратарея), где ϵ' – действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости: $\hat{\epsilon} = \epsilon' - j\epsilon''$.

НА РИС. 2 ПОКАЗАНА СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СВЧ ТЕРМОВЛАГОМЕРА, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО ИЗМЕРЯТЬ ПОВЕРХНОСТНУЮ ВЛАЖНОСТЬ МАТЕРИАЛА $W_{п}$ И СРЕДНЮЮ ПО ОБЪЕМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛА С ПОЛЕМ ПРЕЛОМЛЕННОЙ ВОЛНЫ ВЛАЖНОСТЬ W . НА СХЕМЕ ВВЕДЕНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ: 1 – БЛОК ГЕНЕРАТОРА УПРАВЛЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЕМ (ГУН) НА ЛАМПЕ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ (ЛОВ) «0» «ШЕЕЛИТ» И УВ-40: $P_{вых} \cong 100$ Вт в непрерывном режиме; $F_{мин...}F_{макс} \in 5,5...6,5$ ГГц, $\Delta F_{д} \leq 0,5$ ГГц – ДИАПАЗОН УПРАВЛЯЕМОЙ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ; 2 – УПРАВЛЯЕМЫЙ МИКРОПРОЦЕССОРОМ (МП) АТТЕНУАТОР НА ПОДМАГНИЧЕННОМ ФЕРРИТЕ; 3 – СВЧ – ТЕРМИСТОРНЫЙ ВАТТМЕТР С ВЫХОДОМ ЧЕРЕЗ УПТ И АЦП НА МП (ЧЕРЕЗ МП УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ $P_{вых}$); 4 – КОНТАКТНОЕ СКОЛЬЗЯЩЕЕ СОЕДИНЕНИЕ; 5 – ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД; 6 – ПИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР; 7 – ВОЛНОВОДНЫЙ Y – ЦИРКУЛЯТОР; 8 – ПОГЛОЩАЮЩАЯ СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА; 9 – КОЛЬЦЕВАЯ ПЕРЕМЕННОФАЗНАЯ МНОГОЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА – ИЗЛУЧАЮЩАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ АПЕРТУРЫ; 10 – РУПОРНАЯ ПРИЕМНАЯ ЧАСТЬ КОМПЛЕКСНОЙ АПЕРТУРЫ; 11 – ВЕНТИЛЬ; 12 – СВЧ – ТЕРМИСТОРНЫЙ ВАТТМЕТР С ВЫХОДОМ ЧЕРЕЗ УПТ НА 13; 13 – ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР – ПОИСКА И ИНДИКАЦИИ МИНИМУМА МОЩНОСТИ ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ $P_{отр}$ ПО УПРАВЛЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ВТОРОМ АНОДЕ 1 (E_{A2} – КЛ 5, УБП-14); 14 – УПРАВЛЯЕМЫЙ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ДЛЯ 1 (УБП); 15 – СЧЕТЧИК ВИДЕОИМПУЛЬСОВ (ВИ), СОПРЯЖЕННЫЙ С 16; 16 – ЦИФРОВОЙ ВОЛНОМЕР; 17 – РЕЗОНАТОРНЫЙ ДАТЧИК ВОЛНОМЕРА; 18 – МП МИКРОПРОЦЕССОР; 19 – БЛОК ТП (ТЕРМОПАР); 20 – ПЕРСОНАЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР – РС.

Предложенная нами система поиска величины угла Брюстера $\Theta_{бр} = \Theta_A$, позволяет (рис. 2) менять $\lambda_{Г}$ в щелевом кольцевом ВВ снабженном ребристой периодической замедляющей структурой b , используя систему поиска минимума $P_{отр}$ по сигналу ваттметра СВЧ через ОС на ГУН, найти величину $\lambda_{Г}$, как меру величины ϵ' и, соответственно определить величину $W_{п}$, а затем по предлагаемому алгоритму термовлагодетрического метода, например по изменению Δt °С поверхности определить и величину W объема взаимодействия.

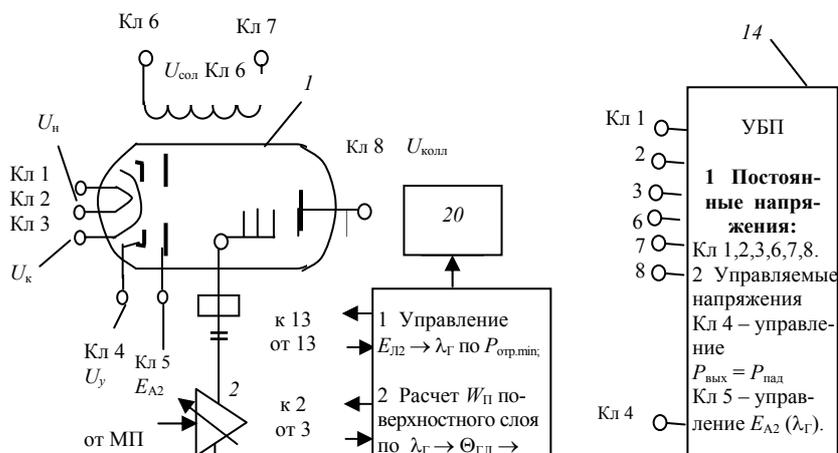


РИС. 2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

При реализации основного алгоритма измерений определяется изменение температуры поверхности, фиксируемое блоком ТП (батарея термопар) $\Delta T (^{\circ}\text{C}) = \Phi(W)$. Время нагрева $t_{\text{н}}(\text{с}) = \text{const}$; $P_{\text{пад}} = \text{const}$; (при том, что $\varepsilon'' = \Phi(W)$, т.е. $P_{\text{пад}} = \Phi(W)$, необходимо через измерение $\varepsilon'_{\text{см}}$ (по углу Брюстера), корректировать (стабилизировать) $P_{\text{пад}} = P_{\Gamma}$ или $t_{\text{н}}$ так, чтобы количество энергии было $P_{\text{прелом}} t_{\text{н}} = Q = \text{const}$ по следующему алгоритму.

1) Измерение $P_{\text{отр.min}}$. 2) Измерение $P_{\text{пад}}$. 3) Измерение $P_{\text{прелом}} = P_{\text{пад}} - P_{\text{отр.min}}$. 4) Изменяя $P_{\text{пад}}$, стабилизируется $P_{\text{прелом}}$.

Количество тепла, поглощаемое материалом:

$$Q = P_{\text{прелом}} t_{\text{н}} = C_{V_{\text{см}}}(W) m(W) \Delta T, \quad (1)$$

где $C_{V_{\text{см}}}$ – объемная теплоемкость влажного материала, определяемая по формуле Оделевского (индекс 1 – свободная влага, 2 – сухой материал):

$$C_{V_{\text{см}}} = a + (a^2 + C_{V1} C_{V2}/2)^{1/2}, \quad a = ((3W - 1) C_{V1} + 2(2 - 3W) C_{V2}) / 4.$$

Откуда измеренная ΔT (при этом масса взаимодействующего вещества $m = \rho V_{\text{взаимод}} = \rho_{\text{см}}(W) V_{\text{вз}}(W)$ и $\rho_{\text{см}} = \rho_1 W + \rho_2(1 - W)$):

$$\Delta T = \frac{P_{\text{прелом}} t_{\text{н}}}{C_V(W) \rho(W) V_{\text{вз}}(W)} = \frac{\text{const}}{C_V(W) \rho(W) V_{\text{вз}}(W)}, \quad (2)$$

где $V_{\text{вз}}(W) = S_{\text{Э}}(W_{\text{П}}) l_{\text{Э}}(W) \approx S_{\text{АП}}(W_{\text{П}}) l_{\text{Э}}(W)$ – переменный объем взаимодействия (объем нагрева).

На рис. 3 в качестве примера показана термовлагограмма для гипсолитовых плит.

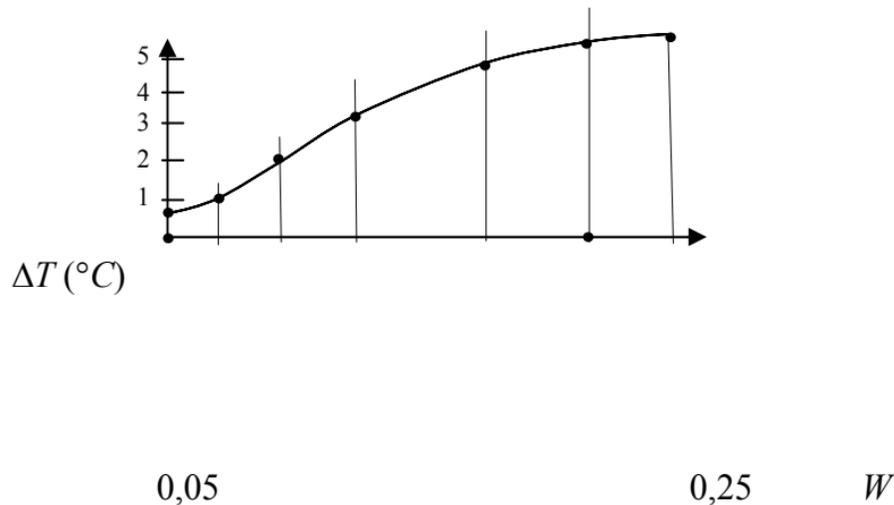


Рис. 3 Экспериментальная зависимость ΔT (°C) от объемной влажности W гипсолитовых плит

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Берлинер М.А. Измерение влажности в диапазоне СВЧ. М.: Энергия. 1973 г.