DOI: 10.26896/1028-6861-2018-84-8-36-38

РАСЧЕТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБТЕКАТЕЛЯ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МАТЕРИАЛА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДЫ

© **Виталий Петрович Крылов**

ОНПП «Технология» имени А. Г. Ромашина, г. Обнинск, Россия; e-mail: info@technologiya.ru

Статья поступила 13 февраля 2018 г.

Представлены результаты оценки влияния воды на частотные радиотехнические характеристики системы антенна — обтекатель. Задачу прохождения плоской волны через стенку антенного обтекателя решали с использованием электродинамической модели. При этом материал стенки представляли как многокомпонентную смесь. В качестве материала стенки обтекателя исследовали кварцевую керамику, в порах которой вода находилась в жидком состоянии. Вода, имея на сверхвысоких частотах высокую диэлектрическую проницаемость и большую величину диэлектрических потерь по сравнению с материалом стенки обтекателя, значительно искажает поле падающей волны. Воду представляли как дополнительный компонент, равномерно распределенный по толщине в порах кварцевой керамики. Проведенные модельные расчеты показали, что наличие влаги в материале стенки приводит не только к уменьшению коэффициента прохождения электромагнитной волны сквозь нее, но и к заметным сдвигам по частоте радиотехнических характеристик системы антенна — обтекатель.

Ключевые слова: пористый материал; кварцевая керамика; влияние воды; диэлектрическая проницаемость; антенный обтекатель; многокомпонентная смесь.

CALCULATION OF RADIO ENGINEERING CHARACTERISTICS OF THE RADOME FROM THE MULTICOMPONENT MATERIAL IMPREGNATED WITH WATER

© **Vitaly P. Krylov**

A. G. Romashin ORPE “Technologiya”, Obninsk, Russia; e-mail: info@technologiya.ru

Submitted February 13, 2018.

Using for the solution of a problem of passing of a flat wave through a wall of an antenna radome electrodynamic model and representing wall material as multicomponent mix, assessment of influence of water on frequency radio engineering characteristics of the antenna radome system is carried out. Water, having at ultrahigh frequencies high dielectric permeability and big size of dielectric losses in comparison with radome wall material, considerably distorts the field of the falling wave at hit on a surface or in a radome wall body. As material of a wall of a radome the quartz ceramics with the time filled with air was considered. It is experimentally defined that water is in a material time in liquid state. Water was represented how the additional component which is evenly distributed on thickness in a time to quartz ceramics. The carried-out model calculations showed that introduction of water to material of a wall of a radome leads not only to reduction of level of coefficient of passing of an electromagnetic wave through a wall, but also to noticeable shifts on the frequency of radio engineering characteristics of the antenna-radome system.

Keywords: porous material; quartz ceramics; water influence; dielectric constant; radome; multicomponent mix.

Влияние свободной воды на частотные радиотехнические характеристики системы антенна — обтекатель исследовали с использованием методов физической оптики [2] и модельных представлений (электродинамическая модель) прохождения плоской волны через пластину из многокомпонентного материала (в нашем случае — увлажненной кварцевой керамики) [3].

Кварцевую керамику представляли как двухкомпонентный материал, состоящий из диоксида кремния и воды. Предполагали, что вода равномерно распределена по объему материала и находится в жидком состоянии [4].

По сравнению с материалом стенки антенного обтекателя содержащаяся в нем вода на сверхвысоких частотах имеет высокие диэлектриче-

Рис. 1. Частотные зависимости КП TE - (а) и TM -волн (б) через пластину с объемным содержанием воды 0 (1), 0,1 (2), 0,5 (3), 1 (4), 3 (5) и 5 % (6)

ские проникаемость и потери, что существенно искажает поле падающей волны [1].

На рис. 1 представлены расчетные частотные зависимости коэффициента прохождения (КП) поляризованных TE - и TM -волн (вектор электрического поля перпендикулярен и лежит в плоскости падения соответственно) через плоскую пластину из кварцевой керамики (угол падения — 60°) с различным объемным содержанием воды. (Угол падения волны на пластину выбирают обычно таким, чтобы он был близок к среднему углу падения волны на поверхность обтекателя.)

Видно, что в случае TE -волны максимумы кривых, соответствующие полуволновой и волновой (частоты 9,5 и 19 ГГц) резонансным электрическим толщинам пластины, с ростом объемного содержания воды уменьшаются и сдвигаются по частоте (см. рис. 1, а).

Зависимости для TM -волны (см. рис. 1, б) значительно отличаются и не носят выраженного резонансного характера. КП при увеличении концентрации воды монотонно уменьшается. Отсутствие резонансного характера связано с близостью выбранного угла падения плоской волны (60°) к углу Брюстера для TM -поляризации.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости частотного сдвига и величины максимума КП ($KP_{\max}$) TE -волны от объемного содержания воды в материале. Видно, что с увеличением концентрации влаги $KP_{\max}$ уменьшается. Это объясняется большим значением тангенса угла диэлектрических потерь воды. Из-за большей ди-

Рис. 2. Зависимости частотного сдвига Δf (1) и величины $KP_{\max}$ (2) от объема впитанной воды (резонансная частота 9,5 ГГц)

электрической проникаемости воды по сравнению с материалом пластины наблюдается значительный сдвиг $KP_{\max}$ по частоте. Причем даже при объемном содержании воды 0,1 % сдвиг составляет существенную величину (250 МГц), что превосходит полосу пропускания узкополосных систем наведения.

Далее расчеты проводили для E -поляризации падающей волны (вектор электрического поля лежит в плоскости поворота обтекателя в горизонтальной плоскости).

На рис. 3 представлены частотные зависимости минимального КП ($KP_{\min}$) для всех углов поворота относительно антенны ($\pm 60^\circ$) узкополосного однослойного обтекателя (в форме оживала, удлинение — 2,5, диаметр — 200 мм) со стенкой из кварцевой керамики (диэлектрические харак-

Рис. 3. Частотные зависимости $KP_{\min}$ обтекателя из кварцевой керамики при содержании впитанной воды 0 (1), 0,1 (2), 0,3 (3), 1 (4), 3 (5) и 5 % (6)

теристики такие же, как и для пластины). Видно, что как и в случае пластины с увеличением объема впитанной влаги наблюдаются уменьшение КП и частотный сдвиг его пика.

На рис. 4 приведены частотные зависимости максимальной ошибки для всех углов поворота обтекателя со стенкой из кварцевой керамики. Видно, что с увеличением объема впитанной воды резонансные свойства оболочки меняются: наблюдается значительный частотный сдвиг минимума ошибки как в области половины, так и четверти (11 и 5,5 ГГц соответственно) волнового значения электрической толщины стенки обтекателя.

Таким образом, проведенные исследования показали, что увеличение количества впитанной воды уменьшает КП обтекателя, приводит к изменению электрической толщины стенки оболочки и сдвигу положения минимумов ошибки обтекателя по частоте. Падение КП определяется большим значением тангенса угла диэлектрических потерь воды, а частотные сдвиги — высоким значением ее диэлектрической проницаемости.

Рис. 4. Частотные зависимости максимальной ошибки обтекателя из кварцевой керамики при содержании впитанной воды 0 (1), 0,1 (2) и 5 % (3)

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуртовник И. Г., Спортсмен В. Н. Стеклопластики радиотехнического назначения. — М.: Химия, 1987. — 160 с.
2. Крылов В. П., Подольхов И. В., Ромашин В. Г. Определение амплитуды трактовой волны приемной антенны в присутствии рассеивающего тела / Радиотехника. 2002. № 11. С. 41 – 44.
3. Суздальцев Е. И. Свойства кварцевой керамики / Огнеупоры и техническая керамика. 2009. № 7 – 8. С. 21 – 34.
4. Гусев Ю. А. Основы диэлектрической спектроскопии. Учебное пособие. — Казань: КГУ, 2008. — 112 с.

REFERENCES

1. Gurtovnik I. G., Sportsmen V. N. Fibreglasses of radio engineering appointment. — Moscow: Khimiya, 1987. — 160 p. [in Russian].
2. Krylov V. P., Podol'khov I. V., Romashin V. G. Determination of amplitude of a traktovy wave of the reception antenna in the presence of the disseminating body / Radiotekhnika. 2002. N 11. P. 41 – 44 [in Russian].
3. Suzdal'tsev E. I. Properties of quartz ceramics / Ogneupory Tekhn. Keram. 2009. N 7 – 8. P. 21 – 34 [in Russian].
4. Gusev Yu. A. Fundamentals of dielectric spectroscopy. — Kazan': KGU, 2008. — 112 p. [in Russian].