

## Выводы

В основе численного моделирования лежит метод интегральных уравнений, основанный на представлении поля в виде потенциалов простого слоя, а также метод конформного отображения и метод аналитической регуляризации. Рассмотрены основные виды треугольных призм, которые являются ключевыми элементами многих оптических приборов. Проведен физический анализ дифракционного поля в случае Е- и Н-поляризации как в дальней, так и в ближней зонах в резонансной области частот. На практике такие треугольные призмы используются как призмные элементы связи не только для возбуждения волноводных мод, но и для вывода излучения из волновода. Для простоты рассмотрение ограничилось дифракцией плоских электромагнитных волн на треугольном цилиндрическом диэлектрическом препятствии. Однако данный метод может быть легко обобщен на случай, когда падающее поле является волной с гауссовым профилем амплитуды, а диэлектрическая призма с произвольным числом сторон погружена в произвольную слоистую изотропную среду. Расчеты произведены на компьютере AMD Duron 650 при использовании системы MATLAB 6.1, время вычисления незначительно зависит от волновых размеров призмы, диэлектрической проницаемости среды, точности вычислений, поляризации и других параметров задачи и в среднем составляет 2 секунды. Численные результаты были сравнены с результатами расчетов методом дополнительных источников, описанным в работах [9, 10], совпадение составляет 99,68%.

Работа частично финансируется международной организацией INTAS, грант № YSF 2001/2-11.

Автор благодарит Тбилисский Государственный Университет за предоставление результатов тестовых расчетов для сравнения, проф. А.Г. Неруха за идею рассмотрения криволинейных призм, своего научного руководителя д-ра физ.-мат. наук А.И. Носича, а также проф. Б.М. Булгакова, д-ра физ.-мат. наук З.Т. Назарчука за полезные советы и обсуждение.

УДК 658.51.011.56

## ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ НАГРЕТОЙ ЗОНЫ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ ПЕРЕГРЕВ АППАРАТА

*СИНОТИН А.М.*

Приводятся аналитические зависимости, позволяющие учитывать влияние формы нагретой зоны на максимальный перегрев аппарата. Описываются результаты экспериментальных данных при различных значениях критерия  $V_{i_0}$ .

### 1. Актуальность, постановка цели и задачи исследования

Современные технические устройства все более насыщаются радиоэлектронной аппаратурой различного назначения. Значительно возрастает количество входящих в радиоэлектронный аппарат эле-

**Литература:** 1. *Veliev E.I., Veremey V.V.* Numerical-analytical approach for the solution to the wave scattering by polygonal cylinders and flat strip structures, in Hashimoto M. et. al. (Eds.) // *Analytical and Numerical Methods in Electromagnetic Wave Theory*. Tokyo: Science House Publ. 1993. P. 471-514. 2. *Борискина С.В., Носич А.И.* Метод аналитической регуляризации в задачах дифракции волн на диэлектрических цилиндрах произвольного поперечного сечения // *Радиофизика и радиоастрономия*. 1998. Т. 3, №3. С. 310-318. 3. *Ilyashenko L.N., Nosich A.I. and Benson T.M.*, Integral equation analysis of a polygonal semiconductor microcavity, Proc. Int. Conf. on Numerical Simulation of Semiconductor Optoelectronic Devices (NUSOD 02), Zurich, 2002. P. 72-73. 4. *Галишиной Т.Н., Ильинский А.С.* Численные методы в задачах дифракции. М.: Изд-во МГУ, 1987. 208с. 5. *Хенл Х., Мауэ А., Вестпфаль К.* Теория дифракции. М.: Мир, 1964. 428 с. 6. *Colton D., Kress R.* Integral Equation Methods in Scattering Theory. New York: Wiley. 1983. 7. *Ильяшенко Л.Н.* Решение задач дифракции волн на диэлектрическом цилиндре с применением теории конформного отображения // *Радиофизика и электроника*, ИРЭ НАНУ, 2002. Т. 7, № 3. 8. *Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами* / Под ред. Абрамовица В.А., Стигана И. М.: Наука, 1979. 830 с. 9. *Царидзе Р.С., Каркашидзе Д.Д.* и др. Исследование возможностей метода дополнительных источников для решения двумерных задач электродинамики // *Радиотехника и электроника*. 1991. Т.26, № 2. 10. *Zaridze R.S., Karkashidze D.D.* Method of auxiliary sources and wave field singularities // 9<sup>th</sup> school-seminar on diffraction and wave propagation, Kazan, 1988.

Поступила в редколлегию 17.04.2003

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Яцук Л.П.

**Ильяшенко Людмила Николаевна**, аспирантка института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова Национальной Академии Наук Украины, отдел вычислительной электродинамики. Адрес: Украина, 61000, Харьков, тел. 428-278, e-mail: lyusi@vil.com.ua

ментов, совершенствуется элементная база при постоянном стремлении максимально снизить массу и габаритные размеры аппаратуры.

Энергетический коэффициент полезного действия радиоэлементов аппарата, как правило, невелик, и значительная доля энергии питания превращается в тепловую энергию, что приводит к перегреву аппаратуры в целом. Это и заставляет создателей радиоэлектронных аппаратов обращать внимание на их тепловые режимы. Поэтому определение температурных полей радиоэлектронной аппаратуры на стадии проектирования является *актуальным*.

*Постановка задачи* – выявление всех конструктивных параметров аппарата, способных обеспечить нормальный температурный режим функционирования. Одним из таких показателей является форма нагретой зоны аппарата.

*Цель* данной работы – исследование влияния формы нагретой зоны на максимальный перегрев аппарата.

## 2. Аналитические зависимости и экспериментальные результаты

Влияние формы нагретой зоны РЭА на максимальный перегрев блоков можно выразить через параметр формы  $F_\Phi$ :

$$F_\Phi = 3 \cdot \frac{A_1}{A_0^3} \cdot \mu_0^2 \frac{\sqrt[3]{\xi_{x_0}^2 \cdot \xi_{y_0}^2 \cdot \xi_{z_0}^2}}{(\mu_{x_1} \xi_{x_0})^2 + (\mu_{y_1} \xi_{y_0})^2 + (\mu_{z_1} \xi_{z_0})^2}, \quad (1)$$

где  $Bi_i = Bi_0 \frac{\sqrt{\xi_{x_0} \cdot \xi_{y_0} \cdot \xi_{z_0}}}{\xi_{i_0}}; i = x, y, z, \quad (2)$

$$A_1 = A_{x_1}^* \cdot A_{y_1}^* \cdot A_{z_1}^*; \quad (3)$$

$$A_{i_1}^* = A_{i_1} - (A_{i_1} - 1) \cdot (1 - \xi_{i_0}), \quad i = x, y, z. \quad (4)$$

Здесь  $A_{i_1}; \mu_{i_1}; A_0; \mu_0$  – значения амплитуд и собственные значения при критерии  $Bi_0$  и  $Bi_{i_1}$ .

На рис.1 представлена зависимость (1) параметра формы  $F_\Phi$  в функции произведения от относительных размеров сторон параллелепипеда ( $\xi_{x_1} \cdot \xi_{y_1} \cdot \xi_{z_1}$ ) объёмом для различных значений критерия  $Bi_0$ .

При деформировании куба ( $\xi_{x_0} = \xi_{y_0} = \xi_{z_0}$ ) в квадратный брус ( $\xi_{x_0} = \xi_{y_0} = 1; \xi_{z_0} \rightarrow 0$ ) того же объёма параметр формы уменьшается (см. рис.1), т.е. минимизируется. Таким образом, форма квадратного бруса обеспечивает более эффективную минимизацию параметра формы, чем любая другая форма того же объёма.

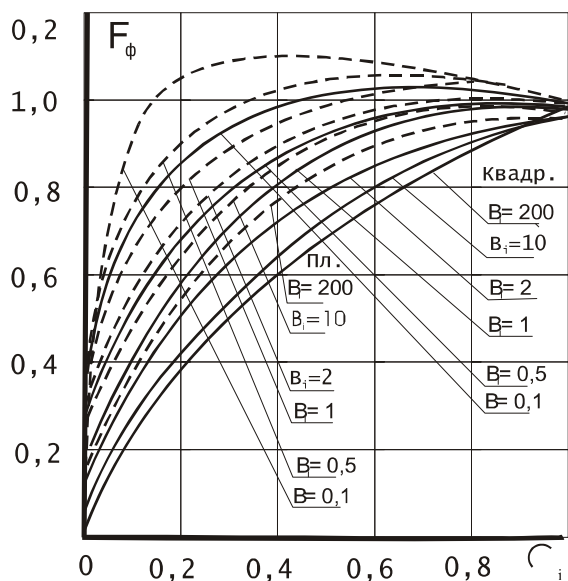


Рис. 1. Зависимость параметра формы  $F_\Phi$  от формы параллелепипеда ( $\xi_x, \xi_y, \xi_z$ ) и критерия  $Bi_i$

Наиболее существенно уменьшается параметр  $F_\Phi$  при значении критерия  $Bi_0 > 1$ . Так, для квадратного бруса при переходе от  $\xi_z = 1$  (куб) к  $\xi_z = 0,2$

параметр  $F_\Phi$  минимизируется до 0,4 при  $Bi_0 = \infty$  и до 0,7 при  $Bi_0 = 1$ .

Для формы квадратной пластины практически уже при  $Bi_0 \leq 1$  параметр формы сохраняет постоянное значение, близкое к предельному, т.е.  $F_\Phi \approx 1$ .

Таким образом, для минимизации параметра формы необходимо нагретой зоне аппарата придавать форму квадратного бруса [1–3]. При этом платы с элементами могут иметь квадратную форму (рис. 2,а) с наименьшими размерами  $2l_{\min} \cdot 2l_{\min}$  или форму прямоугольника  $2l_{\min} \cdot 2l_y$  (рис. 2,б), располагаясь соответственно перпендикулярно к большой или малой оси квадратного бруса.

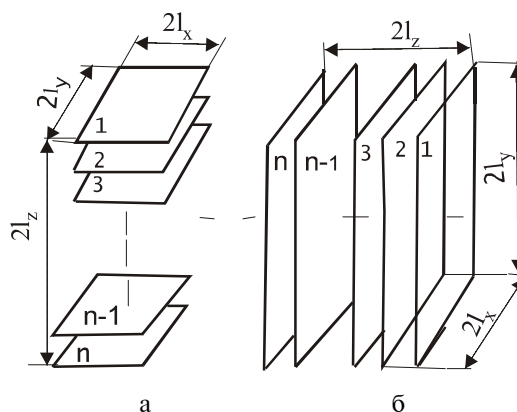


Рис. 2. Размещение плат с элементами в нагретой зоне оптимальной формы квадратного "бруса"

Практически деформирование нагретой зоны к форме квадратного бруса ограничено наибольшим линейным размером элементов  $l_{\max_3}$ :

$$l_{\min} \geq l_{\max_3}, \quad (5)$$

т.е. предельное значение  $\xi_{y_0} \rightarrow 0$  должно быть заменено с учётом ограничения (5)

$$\xi_{x_0} = \xi_{y_0} = 1; \xi_{y_0} \rightarrow \xi_{y_{\min}}. \quad (6)$$

Выражение (6) является предельным условием минимизации параметра  $F_\Phi$ , а практически означает, что все элементы располагаются в ряд на одной условной плате, вытянутой вдоль оси  $Y$ .

Таким образом, ширина  $l_x$  и высота  $l_z$  определяются линейными размерами элемента  $l_{x_3}$  и  $l_{z_3}$ , а протяжённость (длина платы) – количеством элементов ( $n$ ), входящих в состав нагретой зоны согласно электрической схеме аппарата, и линейным размером элемента  $l_{y_3}$ .

Между элементами на плате должен существовать необходимый зазор  $\Delta_y$ , наименьшее значение которого определяется либо из условий электромагнитной совместимости, либо из технологических условий, а наибольшее – из условий ослабления тепловых связей между элементами [1].

В конструкциях РЭА размещение элементов в один ряд на условной плате с учетом того, что количество

элементов составляет сотни, тысячи и более, практически не приемлемо. Условную плату (рис. 3,а) необходимо разбить на участки, из которых могут быть составлены одна или, как правило, несколько плат, расположенных друг под другом или рядом (см. рис. 2).

Для перехода от условной платы к набору реальных плат необходимо предусмотреть зазор  $\Delta_x$  по ширине платы и  $\Delta_z$  по высоте элемента в случае перехода к многоярусной конструкции нагретой зоны (рис. 3,б). Это означает, что каждый элемент занимает некоторую ячейку объёмом  $\Delta V_{zi}$ :

$$\Delta V_{zi} = (l_{xzi} + \Delta_{xi}) \cdot (l_{yzi} + \Delta_{yi}) \cdot (l_{zzi} + \Delta_{zi}). \quad (7)$$

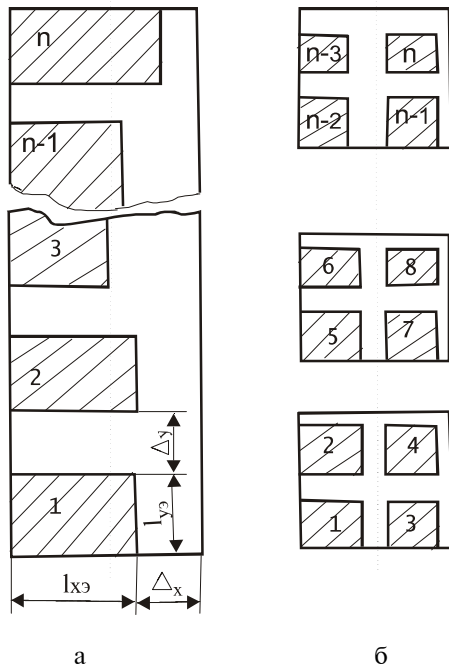


Рис. 3. Структурная схема рядного расположения на условной плате с переходом к реальным платам 1,2,3, n – элементарная ячейка с одним элементом: а – условная плата; б – различные платы

Интересующий нас объём нагретой зоны может быть получен суммированием элементарных объёмов всех элементов:

$$V = \sum_{i=1}^n \Delta V_{zi}. \quad (8)$$

Для случая, когда нагретая зона собирается из нескольких подпоследовательностей однотипных по размерам элементов:

$$V = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \Delta V_{zi}, \quad (9)$$

где  $m_i$  – количество однотипных элементов в подпоследовательности;  $n$  – количество подпоследовательностей.

Преобразуем выражение (7), введя понятие о коэффициенте плотности монтажа:

$$\eta_m = \frac{l_{\max}}{\Delta_i}, \quad (10)$$

здесь  $l_{\max} = \max l_{zi}, i = x, y, z. \quad (11)$

С учётом (10) выражение для объёма элементарной ячейки примет вид:

$$\Delta V_{zi} = \frac{l_{\max}^3}{\eta_{mx} \cdot \eta_{my} \cdot \eta_{mz}} \cdot (1 + \xi_{x0} \eta_{nx})(1 + \xi_{y0} \eta_{ny})(1 + \xi_{z0} \eta_{nz}). \quad (12)$$

Если линейные размеры элемента и зазоры  $\Delta_i$  близки между собой, то  $\xi_{x0} \approx \xi_{y0} \approx \xi_{z0} \approx 1$ ;  $\eta_{mx} \approx \eta_{my} \approx \eta_z \approx \eta_n$  и выражение (12) упрощается:

$$\Delta V_{zi} = l_{\max}^3 \left( \frac{1 + \eta_n}{\eta_n} \right)^3. \quad (13)$$

Соответственно, объёмы нагретой зоны будут определяться по формулам:

– монтаж высокой плотности ( $\eta_m \gg 1$ )

$$V = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_{\max i}^3; \quad (14)$$

– монтаж средней плотности ( $\eta_m > 1$ )

$$V = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_{\max i}^3 \cdot f(\eta_n), \quad (15)$$

где  $f(\eta_n) = \left( \frac{1 + \eta_n}{\eta_n} \right)^3; \quad (16)$

– монтаж малой плотности ( $\eta_m \approx 1$ )

$$v = \sum_{i=1}^8 8m_i \cdot l_{\max i}^3. \quad (17)$$

При заданном допустимом наименьшем линейном размере нагретой зоны  $2l_{\min}$  в форме параллелепипеда её поверхность выражается следующей зависимостью через объём:

$$s = \frac{v}{l_{\min}} \cdot (\xi_{x0} + \xi_{y0} + \xi_{z0}) \quad (18)$$

Для оптимальной формы квадратного бруса  $\xi_{x0} = \xi_{y0} = 1$  и выражение (18) примет вид

$$s = \frac{v}{l_{\min}} (2 + \xi_{z0}) \quad (19)$$

$$\xi_{z0} = \frac{8l_{\min}^3}{v}. \quad (20)$$

Если  $2l_{\min}$  не задано, то в первом приближении поверхность нагретой зоны определяем так:

$$s = 6\sqrt[3]{v^2} \quad (21)$$

или поверхность кожуха из суммарной рассеиваемой мощности и допустимой средней температуры нагретой зоны [1]:  $S_k \approx \frac{P}{49}$ .

### 3. Выводы

1. Получены расчетные зависимости, позволяющие учитывать влияние формы нагретой зоны на максимальный перегрев аппарата.

2. Аппараты в форме “квадратного бруса” ( $\xi_z \ll 1, \xi_x = \xi_y$ ) допускают наибольшие мощности, рассеиваемые радиоэлементами в объеме. Форма “квадратного бруса” обеспечивает выравнивание температуры в объеме аппарата за счет существенного уменьшения параметра  $F_\phi$  (рис.1) по сравнению с кубической формой. Так, при  $\xi_z = 0,2$  ( $\xi_x = \xi_y = 1$ ) допустимая мощность рассеяния  $P$  возрастает по сравнению с кубической формой в 1,5 раза, а при  $\xi$ , равной 0,1, — в 2 раза. Наибольший перегрев по отношению к средней поверхностной температуре (неравномерность перегрева в объеме) уменьшается соответственно в 2 и 3,3 раза, а среднеповерхностная температура — на 20 и 34%.

УДК 621.391

## АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ В АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ С ВВЕДЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ШУМОВ

*ПОСПЕЛОВ Б.Б., ГРУШЕНКО М.В.*

Исследуется эффективность системы, реализующей алгоритм адаптации средств информационного обмена в специфических условиях функционирования авиационных средств связи. Результатами исследований являются рекомендации при решении задач модернизации самолетов ВВС.

Средства информационного обмена (ИО) являются важным элементом различных систем управления подвижными силами на суше, на море, в воздушном и космическом пространстве. Особое место отводится средствам ИО в авиации. В настоящее время существенно возросли требования по надежности, достоверности, объему, характеру и скорости передаваемой информации в авиационных линиях ИО. Для военной авиации указанные требования к средствам ИО должны выполняться в условиях ведения информационного противоборства со стороны противника. В настоящее время средства ИО в авиации практически неспособны удовлетворять возросшим требованиям в условиях ожидаемого информационного противоборства. Поэтому проблема защиты средств ИО от информационного противоборства для военной авиации очень актуальна.

Решение данной проблемы тесно связано с решением важных научных и практических задач, предусматриваемых программами модернизации самолетов ВВС в государствах содружества. Важное место в решении рассматриваемой проблемы отводится внедрению адаптивной обработки сигналов и помех в антенных системах авиационных средств ИО. Такая обработка позволяет обеспечивать возрастающие требования по надежности и достоверности передачи информации без снижения пропускной способности средств ИО. Общая теория адаптивной обработки сигналов и помех в антенных

**Литература:** 1. Майко И.М., Синотин А.М. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности нагретых зон радиоэлектронных аппаратов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1972. № 2. С. 13-17. 2. Майко И.М., Детинов Ю.М., Синотин А.М. О теплофизическом конструировании одноблочных радиоэлектронных аппаратов с заданным тепловым режимом // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1974. № 1. С. 80-87. 3. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Л.: Энергия, 1971. 248 с.

Поступила в редколлегию 03.09.2003

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Алипов Н.В.

**Синотин Анатолий Мефодиевич**, канд. техн. наук, доцент, методист, проф. отдела НМУ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование, автоматизация и производство радиоэлектронной аппаратуры. Адрес: Украина, 61174, Харьков, пр. Победы, 57 Г, кв. 35, тел. 40-94-59.

системах различных средств к настоящему времени уже сформировалась [1-6]. Однако при реализации ее на борту летательных аппаратов возникает много новых научных и практических задач, требующих решения. Как показывают исследования, известные методы и алгоритмы адаптивной обработки сигналов и помех в антенных системах в условиях борта оказываются в большинстве случаев малоэффективными [7]. Объясняется это сложностью и существенной нестационарностью реальной сигнально-помеховой обстановки на борту по сравнению с используемыми идеализациями, при которых были получены известные алгоритмы. По этой причине необходимо проведение исследований, направленных на повышение эффективности известных методов и алгоритмов адаптивной обработки сигналов и помех в антенных системах в специфических условиях функционирования авиационных средств ИО. Так, складывающаяся в условиях борта сигнально-помеховая обстановка такова, что корреляционная матрица сигналов и помех на входе системы адаптивной обработки оказывается плохо обусловленной и даже может быть условно вырожденной. При этом степень обусловленности матрицы на интервале функционирования средств ИО изменяется во времени. Кроме этого, в аппаратных средствах, реализующих алгоритмы адаптации, могут возникать неконтролируемые смещения напряжений при перемножении входных сигналов.

Результаты исследования характеристической функции адаптивной антенной системы (ААС) [8] свидетельствуют о том, что добавление шумов к входным сигналам реконфигурирует форму характеристической функции ААС, приближая ее к круговому параболоиду. В этом случае, как известно, обеспечивается более эффективная работа большинства разновидностей градиентных алгоритмов адаптации ААС. В [1] исследовано влияние смещения выходного напряжения, возникающего при перемножении входных сигналов, на эффективность ААС, реализующей алгоритм адаптации по минимуму среднеквадратичного отклонения (МСКО). Показано, что смещение в целом снижает эффективность ААС и ухудшает выходное отношение сигнал/помеха/шум (ОСПШ). Однако при возрастании уровня шумов на входе ААС наблюдалось увеличение выходного ОСПШ.